Aus der Klinik für Kommunikationsstörungen
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Die Reproduzierbarkeit von Stimmfeldern und deren Korrelation zur Tonhaltedauer

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktorgrades der Medizin
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von
Wolfgang Lillge
aus Berlin-Spandau

Mainz, 1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554402_0041

Aus der Klinik für Kommunikationsstörungen
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Die Reproduzierbarkeit von Stimmfeldern und deren Korrelation zur Tonhaltedauer

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktorgrades der Medizin
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von
Wolfgang Lillge
aus Berlin-Spandau

Mainz, 1984

Dekan: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl
1. Gutachter: Prof. Dr. P. Biesalski
2. Gutachter: Dr. G. Geyer

Tag der Promotion: 17. Oktober 1984

Inhalt

	Seite
Einleitung	4
Methoden der Stimmuntersuchung	
1. Stroboskopie	5
2. Sonagraphie	6
3. Stimmfeld	6
Hauptteil	
Methodik der Untersuchungen	7
Probanden	9
Ergebnisse	
1. Stimmfelder	10
2. Tonhaltedauer	27
3. 3-KHz-Formant	57
Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	67
Diskussion	68
Literatur	71
Danksagung	73
Lebenslauf	74

Einleitung

Nicht nur für die Untersuchung der pathologisch veränderten Sing- und Sprechstimme, sondern auch für die physiologische Stimmfunktion eines ausgebildeten und unausgebildeten Sängers ist es wünschenswert, objektive Kriterien für Aussagen bezüglich der Stimmqualität zu erarbeiten. Der Arzt und der Stimmpädagoge brauchen über rein subjektiv gewonnene Eindrücke der Stimmfunktion hinaus möglichst zuverlässig reproduzierbare und gleichzeitig schnell erhältliche sowie einfach auswertbare Verfahren, um die Funktionsfähigkeit der Stimme beurteilen zu können. Diese Forderungen sind bei einem Organ, das so komplex funktioniert wie das Stimmorgan, natürlich nur schwer zu erfüllen. Sie erfassen entweder nur Teilfunktionen oder sind mit einem apparativen und zeitlichen Aufwand verbunden, der für regelmäßige Verlaufskontrollen oder Routineuntersuchungen nicht gerechtfertigt wäre. Die Messung von Stimmfeldern, wie sie in dieser Arbeit untersucht werden, ist eine Methode, mit der sich wichtige Aspekte der Stimmfunktion objektivieren lassen.

Methoden der Stimmuntersuchung

Es sollen zunächst einige Methoden der Stimmuntersuchung vorgestellt werden.

1. Stroboskopie

Die Stroboskopie ist eine der ältesten Methoden zur Darstellung von Erkrankungen der Stimmlippen. Erstmals von Plateau (Brüssel) und Stampfer (Wien) 1829 verwendet und 1879 von Oertel in die Laryngoskopie eingeführt (8), beruht die Stroboskopie auf folgendem Prinzip:

Von einem Impulsgeber abgegebene Lichtblitze werden mit der Frequenz eines gesungenen Tones synchronisiert, so daß für das untersuchende Auge ein stehendes bzw. verlangsamtes Bild der Stimmlippenschwingung entsteht (8, 11, 14). Angefangen mit den ersten Stroboskopen, die mit einer rotierenden Lochscheibe funktionierten, hat sich die Entwicklung bis zum heutigen Elektronenstroboskop fortgesetzt, das über eine angeschlossene Videoaufzeichnung oder Schnellbildkamara präzise Beobachtungen der Stimmlippenschwingungen zuläßt. Die neueste Entwicklung des Glasfiberstroboskops, das, über die Nase eingeführt, nicht mehr mit dem Nachteil behaftet ist, daß der Patient wegen der bei herkömmlicher stroboskopischer Untersuchung herausgestreckten Zunge in nur sehr begrenztem Umfang normale reine Töne singen kann, verspricht eine stroboskopische Beurteilung auch gesangstechnisch hochwertiger Stimmen.

Anwendung findet die Stroboskopie zur Unterscheidung organischer und funktioneller Störungen, zur Verlaufskontrolle verschiedener Krankheiten des Kehlkopfes, zur Krebsfrüherkennung der Stimmlippen und zur Eignungsbeurteilung von Stimmen im Sänger- und Rednerberuf (14).

2. *Sonagraphie*

Bei diesem Verfahren zur Schallanalyse werden drei Dimensionen erfaßt: Waagerecht der zeitliche Verlauf, senkrecht die Frequenzbereiche, und aus dem Schwärzungsgrad der Aufzeichnung läßt sich die Intensität in einem bestimmten Frequenzbereich ablesen, was allerdings keine genaue quantitative Beurteilung der einzelnen Amplitudenstärken zuläßt. Das sonagraphische Verfahren zeichnet somit die sich laufend verändernde spektrale Zusammensetzung eines Lautvorgangs in Teiltonzeilen auf (8, 9, 14).

Eine erweiterte Methode der Sonagraphie wurde in jüngster Zeit von *Lippert* an der Mainzer Klinik für Kommunikationsstörungen entwickelt, bei der anstelle des Schwärzungsgrades mit verschiedenen Farbkontrasten eine genauere Quantifizierung der Amplitudenstärke und Frequenzverteilung möglich ist.

3. *Stimmfeld*

Die Stimmfeldmessung ist eine Methode, bei der mit einem Gerät gleichzeitig die Frequenz und die Lautstärke einer Stimme in einem Koordinatensystem aufgezeichnet wird, so daß die Stimmintensität in Abhängigkeit vom gesamten Stimmumfang graphisch darstellbar wird (2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 15, 16, 19, 20). Das Stimmfeld ist eine anschauliche Methode, um Stimmbefunde zu dokumentieren, und es hat den Vorteil, in relativ kurzer Zeit ohne besonderen Aufwand verfügbar zu sein. Mit Hilfe eines Stimmfeldmeßgerätes, wie es an der Mainzer Klinik für Kommunikationsstörungen entwickelt wurde, lassen sich Stimmgattungen, Registerübergänge, Verläufe von Stimmbehandlungen, Wachstums-, Reifungs- und Alterungsprozesse der Stimme, Kontrolle der Stimmausbildung, sowie vor allem krankhafte Erscheinung der Stimmbildung usw. erfassen (5, 6).

Hauptteil

Methodik der Untersuchungen

Mit den durchgeführten Untersuchungen sollte die Reproduzierbarkeit von Stimmfeldern geprüft werden. Die Fragestellung war, ob aus zwei Stimmfeldern einer Versuchsperson die gleichen grundsätzlichen Aussagen über Stimmumfang, Stimmdynamik, Registerübergänge und andere Charakteristika der Stimme in den einzelnen Stimmlagen abzuleiten sind. Es wurden alle fünf Vokale a, e, i, o, u untersucht, um so zusätzliche Anhaltspunkte für Stimmbesonderheiten zu sammeln.

Weiterhin wurde, ebenfalls in allen fünf Vokalen, die Tonhaltedauer für jeden Ton des Stimmspektrums gemessen, ausgehend von der leisesten Intensität aufsteigend in 5-dB-Schritten zur lautesten Intensität. Ein dreidimensionaler Ausdruck der erhaltenen Tonhaltedauern gegenüber Frequenz und Tonintensität erlaubte eine Zuordnung auffälliger Besonderheiten dieser Ergebnisse zu den Stimmfeldern.

Neben diese quantitative Aussage über die Stimmleistung trat noch eine qualitative, die Bestimmung des 3-KHz-Formanten der gesungenen Töne. Der 3-KHz-Formant, ein aus empirischen Untersuchungen ermitteltes Gütekriterium für die Tragfähigkeit der Stimme (12, 21), wurde dann ebenfalls mit den erstellten Stimmfeldern in Korrelation gesetzt.

Vor Durchführung der Versuche wurden die Probanden orientierend HNO-ärztlich untersucht, eine Spirometer-Untersuchung zur Prüfung der Vitalkapazität und der Tiffeneautest sowie eine stroboskopische Untersuchung zum Ausschluß funktioneller Stimmerkrankungen durchgeführt.

Die Stimmfelder wurden in einem Abstand von etwa zwei bis drei Monaten mit einem halbautomatischen Stimmfeldmeßgerät in der Mainzer Klinik für Kommunikationsstörungen erstellt. Dabei wird dem Probanden zunächst ein Prüfton (bei weiblichen Probanden c_1, bei männlichen Probanden c) vorgegeben, den dieser nachsingen soll. Sobald dieser Prüfton korrekt intoniert wird,

wird der Proband aufgefordert, diesen Ton zuerst möglichst leise und anschließend möglichst laut nachzusingen. Entsprechend dem Standardisierungsvorschlag zur Stimmfeldmessung von *Seidner* und *Schutte* (17) beträgt bei allen Messungen der Mikrophonabstand 30 cm. Mit Hilfe des angeschlossenen XY-Schreibers werden diese Maximal- und Minimalwerte auf der Y-Achse eines vorgedruckten Stimmfeldformulars notiert. Die Messungen erfolgen entsprechend der Vorgabe des Tongenerators auf C-Dur diatonisch absteigend zur tiefsten erreichbaren und danach von der Ausgangsfrequenz aufsteigend zur höchsten erreichbaren Frequenz. Verbindet man die so erhaltenen Punkte miteinander, ergibt sich das Stimmfeld zwischen den Linien der größten und kleinsten Stimmintensitäten.

Die Tonhaltedauer wurde nicht nur von dem jeweils leisesten und lautesten Ton des Stimmumfangs ermittelt, sondern auch von allen Zwischenschritten im Abstand von 5 dB, was einen durchschnittlichen Zeitaufwand von etwa 4 Stunden pro Versuchsperson und Vokal, also insgesamt etwa 140 Stunden reine Untersuchungszeit für alle sieben Versuchspersonen bedeutete. Praktisch intonierte die Versuchsperson dabei zuerst das c_1 (bei weiblichen Probanden) bzw. das c (bei männlichen Probanden) mit der geringsten möglichen Lautstärke. Nach Messung dieses Tonhaltewertes folgte entsprechend der nächste Lautstärkeschritt 5 dB höher usw., bis die maximale Lautstärke erreicht war. Es folgte zunächst absteigend der nächst tiefere Ton in der gleichen Weise bis zur tiefsten erreichbaren Frequenz, sodann von c_1 bzw. c aufsteigend bis zur höchsten erreichbaren Frequenz. Dabei konnte die Versuchsperson optisch über ein Potentiometer die eigene Stimmlautstärke kontrollieren. Der Mikrophonabstand betrug hierbei — wie auch bei der Stimmfeldmessung — 30 cm. Die Versuchsperson wurde aufgefordert, tief zu inspirieren und dann unter Sichtkontrolle der Lautstärke den vorgegebenen Prüfton maximal lange zu halten. Die mit der Stoppuhr ermittelten Tonhaltedauern wurden in eine geeignete Tabelle eingetragen und nach Eingabe in den Rechner (Plurimat S) mit einem besonders

erstellten Programm dreidimensional aufgezeichnet (Digitalplotter Tektronix 4662).

Sämtliche gesungenen Töne wurden auf einem Tonbandgerät der Marke Revox mitgeschnitten und ein Teil von ihnen mit dem Rechner einer Frequenzanalyse bezüglich des 3-kHz-Formanten unterzogen.

Probanden

Es wurden sieben Versuchspersonen (vier weibliche, drei männliche) im Alter von 27 bis 40 Jahren untersucht, von denen fünf Laienchorsänger ohne professionelle Stimmausbildung und die übrigen zwei Nichtsänger waren. Alle waren vor Beginn der Untersuchung als stimmgesund befunden worden.

Die Versuchspersonen hatten einen Stimmumfang von zweieinhalb bis drei Oktaven, eine im Normbereich liegende Vitalkapazität und einen unauffälligen Tiffeneautest (siehe Tab. 1).

	Stimmumfang	VK (l)	Tiffeneau (l/1 sec)
VP 1	A - g_2	3,7	3,2
VP 2	A - c_3	3,9	3,7
VP 3	H - h_2	4,2	3,7
VP 4	E - e_2	4,6	3,9
VP 5	E - d_2	5,7	4,2
VP 6	H - h_2	3,8	3,2
VP 7	C - d_2	4,8	3,9

Tabelle 1. Stimmumfang, Vitalkapizität und Tiffeneautest der untersuchten Versuchspersonen.

Ergebnisse

1. Stimmfelder

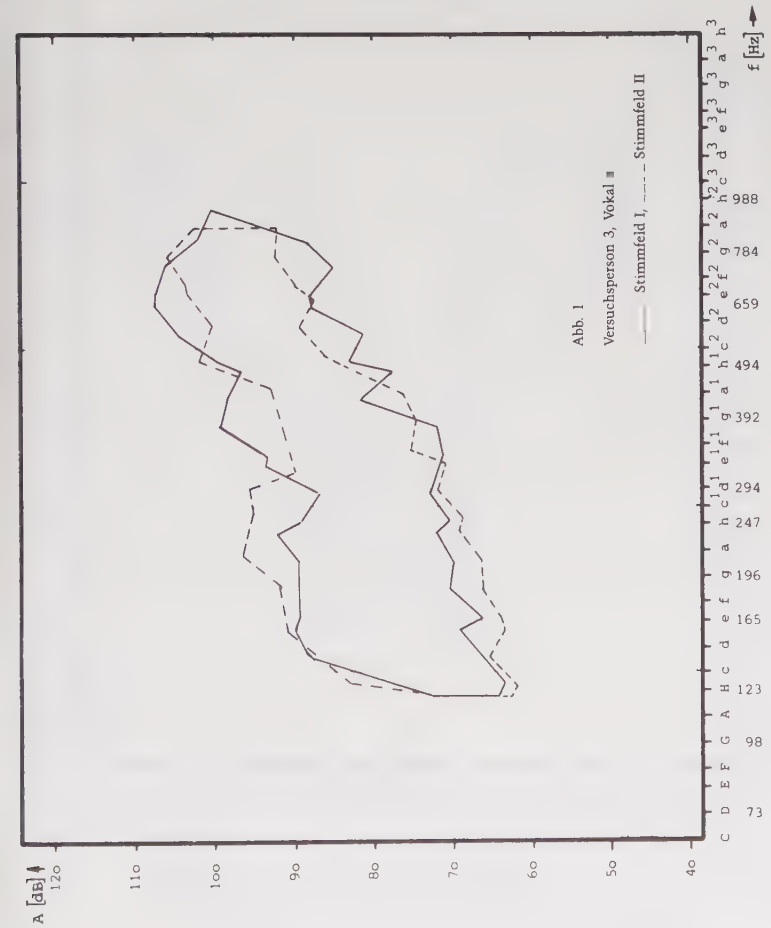
Ein Stimmfeld gilt als reproduzierbar, wenn es nach zweimaliger Erstellung bezüglich der folgenden Kriterien gleiche oder zumindest sehr ähnliche Ergebnisse liefert: *Stimmumfang, Verlauf der Dynamik, Registerübergänge, Dynamikumfang* und *Vokalunterschiede.*

Der *Stimmumfang* war bei allen Versuchspersonen in den fünf geprüften Vokalen reproduzierbar, wobei es Abweichungen um höchstens einen Ton im tiefsten oder höchsten Frequenzbereich gab.

Der *Verlauf der Dynamikkurve* zeigte bei den gesanglich ungeübten Versuchspersonen die größten Schwankungen zwischen den beiden erstellten Stimmfeldern, allerdings in keinem untersuchten Fall so gravierend, daß eine Ähnlichkeit nicht mehr erkennbar wäre. Alle Versuchspersonen erreichten im Bereich der tiefsten Töne die geringsten Lautstärkewerte. Generell steigt dann die Lautstärke im mittleren Frequenzbereich der Pianokurve an, um in einigen Fällen in den hohen Tonfrequenzen wieder auf niedrigere Werte abzusinken. Die korrespondierende Fortekurve zeigt in der Regel im tiefen Frequenzbereich die niedrigsten dB-Werte, steigt dann steil an, flacht im mittleren Frequenzbereich allgemein ab oder ist sogar rückläufig, um dann bei den hohen Tönen die größten Lautstärkewerte zu erreichen. Als häufiges Bild ergibt sich daraus in den mittleren Tonlagen oft eine erhebliche Verengung der Dynamikkurve.

An den Stimmfeldern mehrerer Versuchspersonen läßt sich die Reproduzierbarkeit der Dynamikkurve gut demonstrieren (siehe Abb. 1).

Abb. 1 Übereinanderprojektion von Stimmfeld I (_____) und Stimfeld II (__ __ __) bei VP 3 auf a, e, i, o, u, bei VP 4 auf a und VP 6 auf a. Keines der Stimmfelderpaare weist signifikante Abweichungen in Tonumfang oder Stimmdynamik auf.



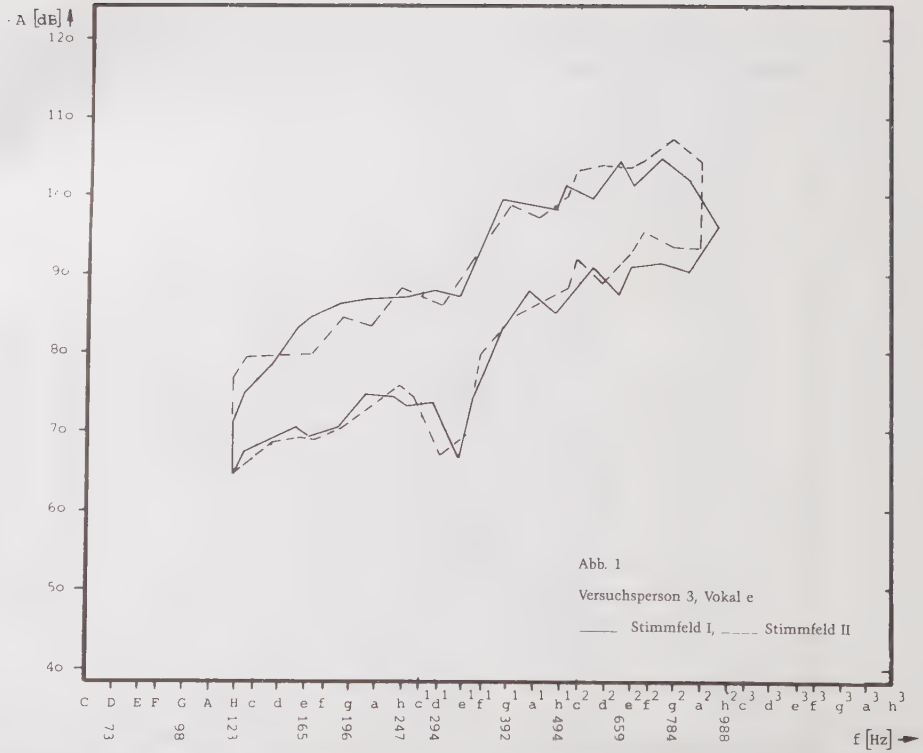


Abb. 1

Versuchsperson 3, Vokal e

——— Stimmfeld I, - - - - Stimmfeld II

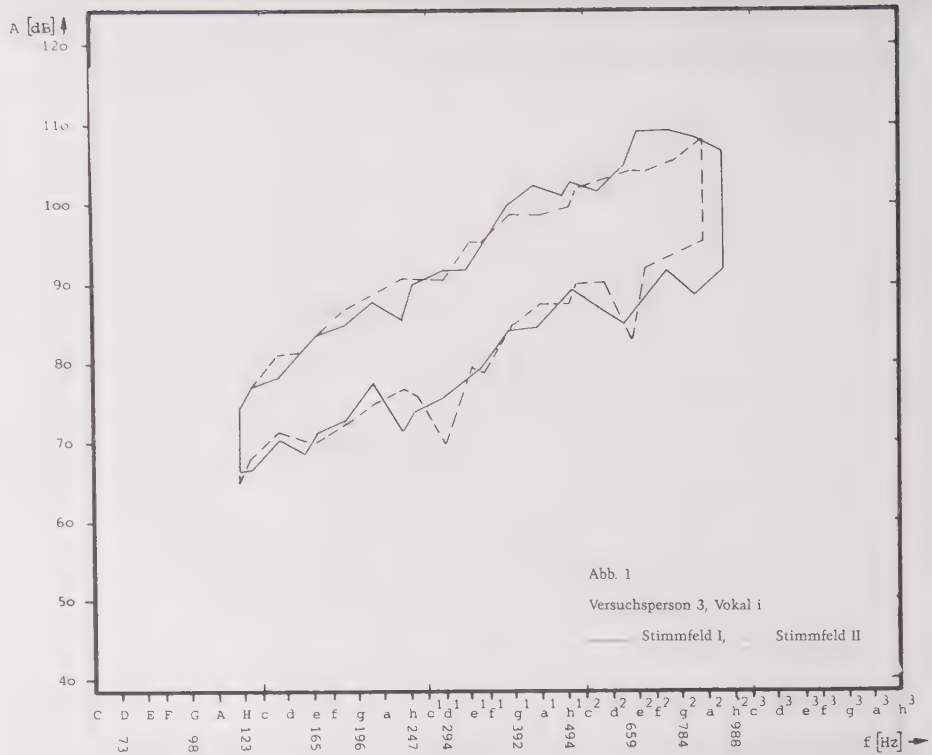


Abb. 1

Versuchsperson 3, Vokal i

Stimmfeld I, Stimmfeld II

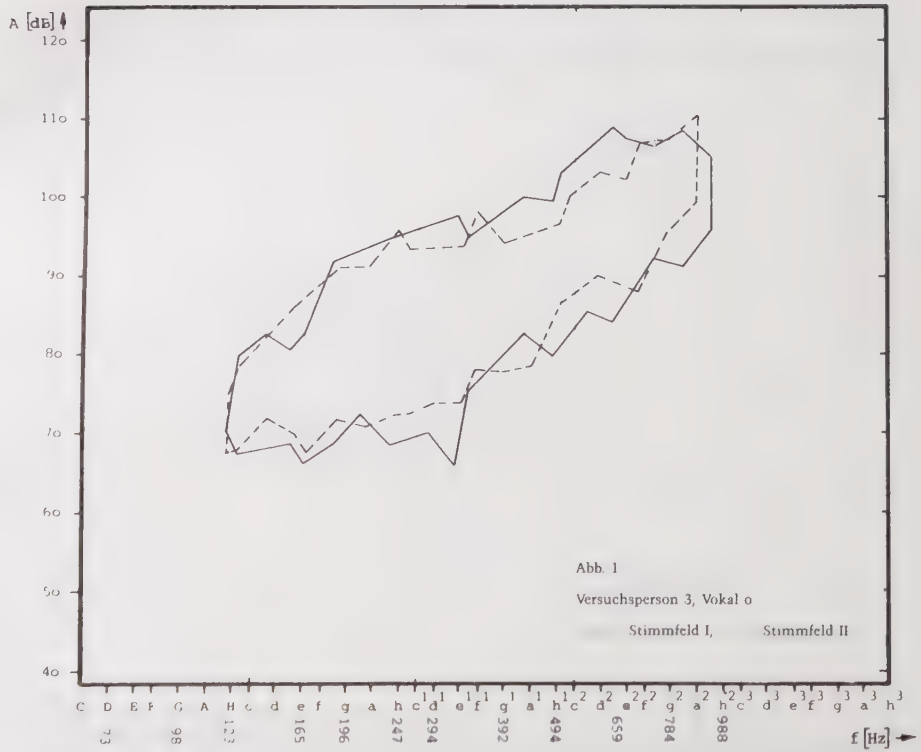


Abb. 1

Versuchsperson 3, Vokal o

Stimmfeld I, Stimmfeld II

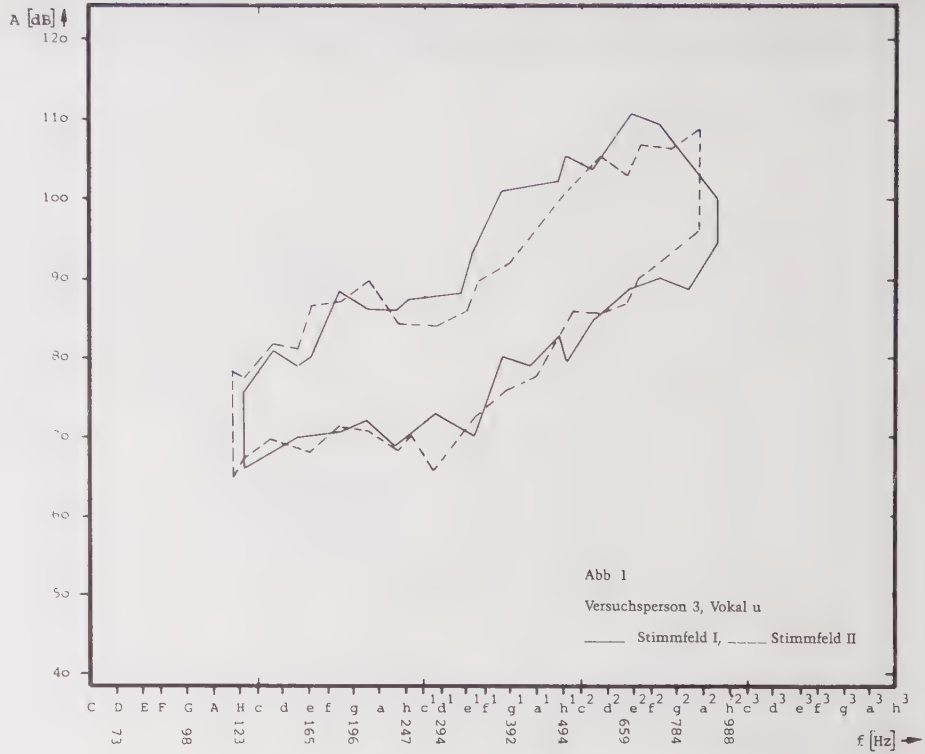


Abb 1

Versuchsperson 3, Vokal u

——— Stimmfeld I, - - - - Stimmfeld II

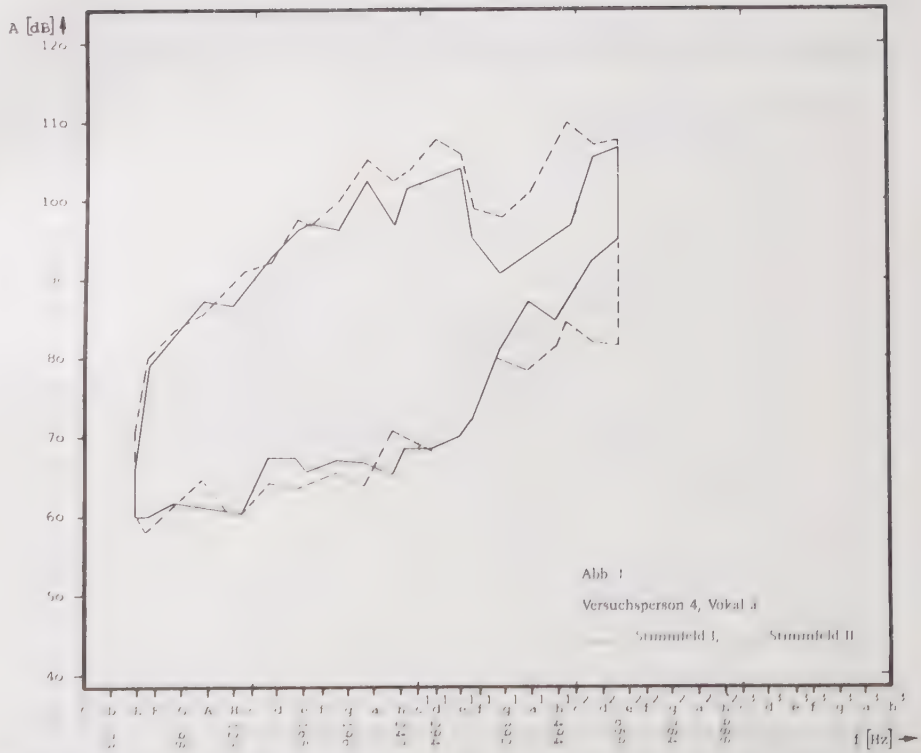


Abb. 1

Versuchsperson 4, Vokal a

Stimmfeld I, Stimmfeld II

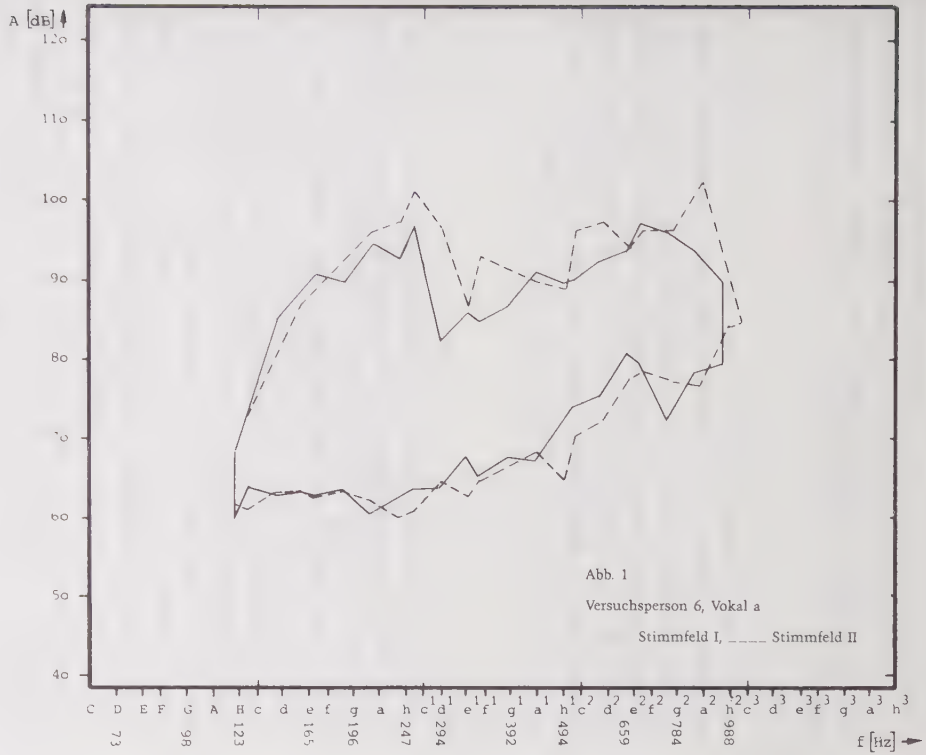


Abb. 1

Versuchsperson 6, Vokal a

Stimmfeld I, ------ Stimmfeld II

Bei fünf Versuchspersonen fiel auf, daß das zweite angefertigte Stimmfeld vom *Dynamikumfang* größer ausfiel als das erste, was sich am ehesten als eine Art Übungseffekt in Folge der parallel laufenden Tonhalteversuche deuten läßt, die die Stimmkraft erheblich schulten. Zudem waren diese Abweichungen bei den gesanglich ungeübten Personen am auffallendsten, weil bei ihnen die gesteigerte Stimmbenutzung den größten Trainingseffekt hatte.

Bei Versuchsperson 2 ließ sich nach durchschnittlichen Werten im tiefen Tonbereich bei h/c_1 eine plötzliche, ganz starke Zunahme der Dynamik beobachten, so daß das Kopfregister dieser Sopranstimme im Stimmfeld eine mehr als doppelt so große Fläche umfaßt wie das Brustregister. Auch klang die Stimme subjektiv in diesen höheren Frequenzbereichen viel klarer und freier, und erreichte eine Spitzendynamik von fast 60 dB (s. Abb. 2).

Bei allen Versuchspersonen, bei denen im Stimmfeld optisch sichtbare *Registerübergänge* als Ausdruck der Umschaltung vom Brustregister auf das Kopfregister mit parallelen Spannungsänderungen der Kehlkopfmuskulator darstellbar waren, gelang auch deren eindeutige Reproduktion im zweiten Stimmfeld; an der Stelle des Registerüberganges mußte es also neben einer hörbaren Qualitätsveränderung der Stimme auch zu einer meßbaren Verminderung der Lautstärke gekommen sein. Bei fünf der sieben Untersuchten waren in fast allen Vokalen eindeutige dB-Einbrüche an typischen Stellen der Registerübergänge sichtbar, die sich auch im zweiten Stimmfeld an gleicher Stelle reproduzieren ließen. Bereits aus Abb. 1 läßt sich dieser Befund bei Versuchsperson 6 auf Vokal a ablesen. In Abb. 3 sind weitere Beispiele demonstriert. Bei Versuchsperson 5 auf a und bei Versuchsperson 6 auf e und o waren die Registerübergänge ebenfalls eindeutig reproduzierbar.

Abb. 2 Stimmfelder von VP 2 auf i (— — —) und u (————). Extremer Dynamikzuwachs des Kopfregisters mit Differenzwerten zwischen Piano- und Fortekurve bis zu 60 dB.

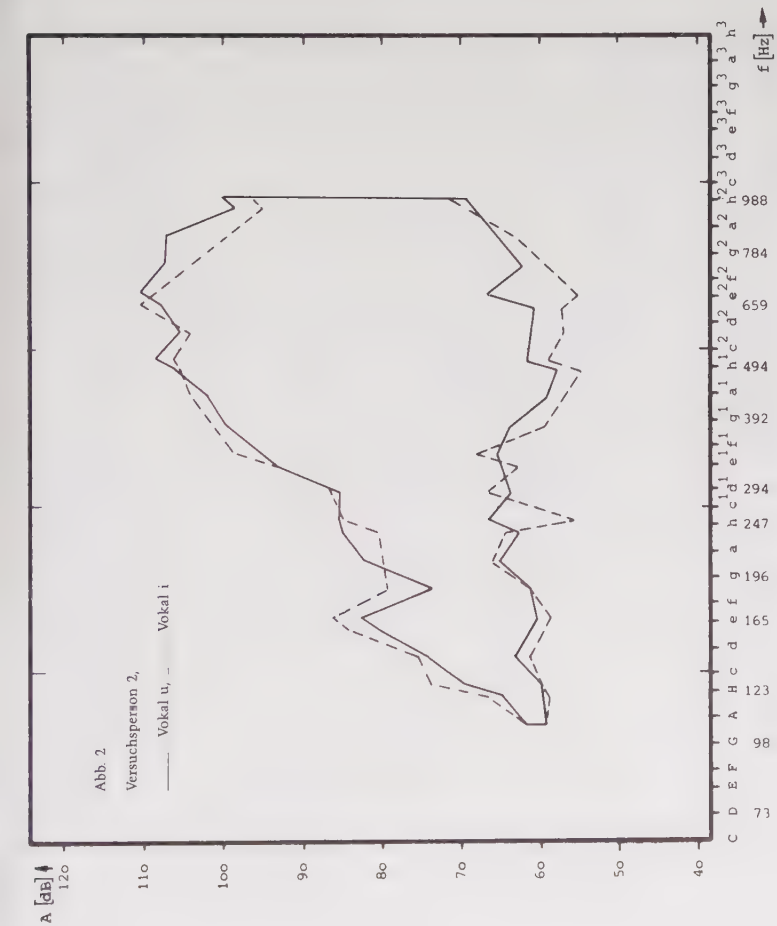
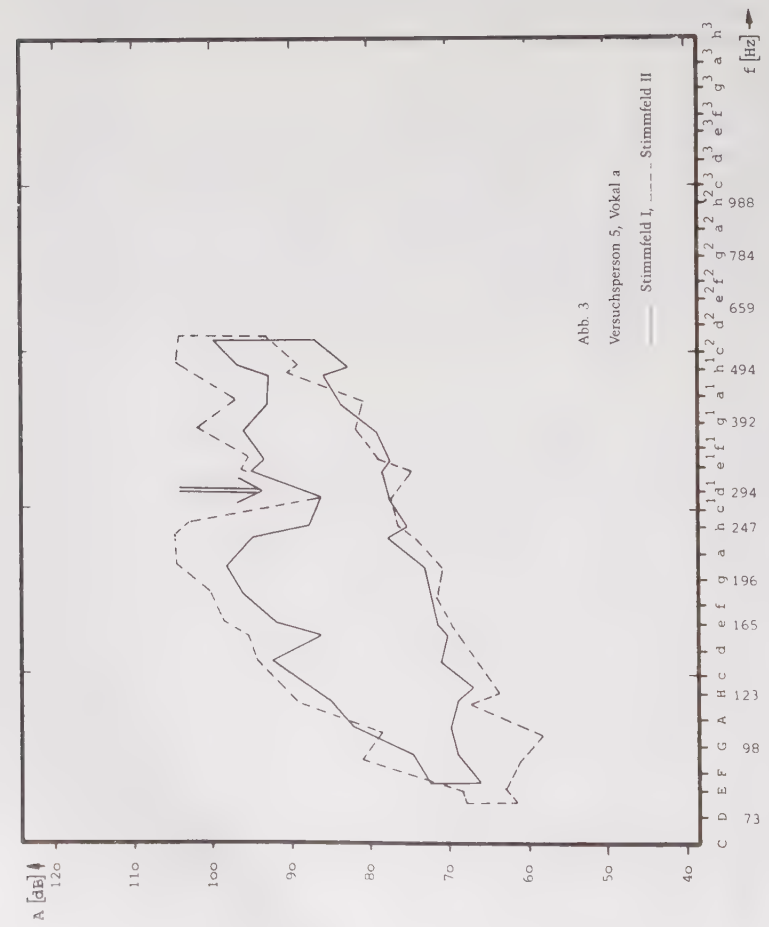


Abb. 3 Übereinanderprojektion von Stimmfeld I (_____) und Stimmfeld II (__ __ __) bei VP 5 auf a und bei VP 6 auf e und o zur Darstellung der Reproduzierbarkeit von Registerübergängen. Der Pfeil markiert die Stelle des Registerübergangs.



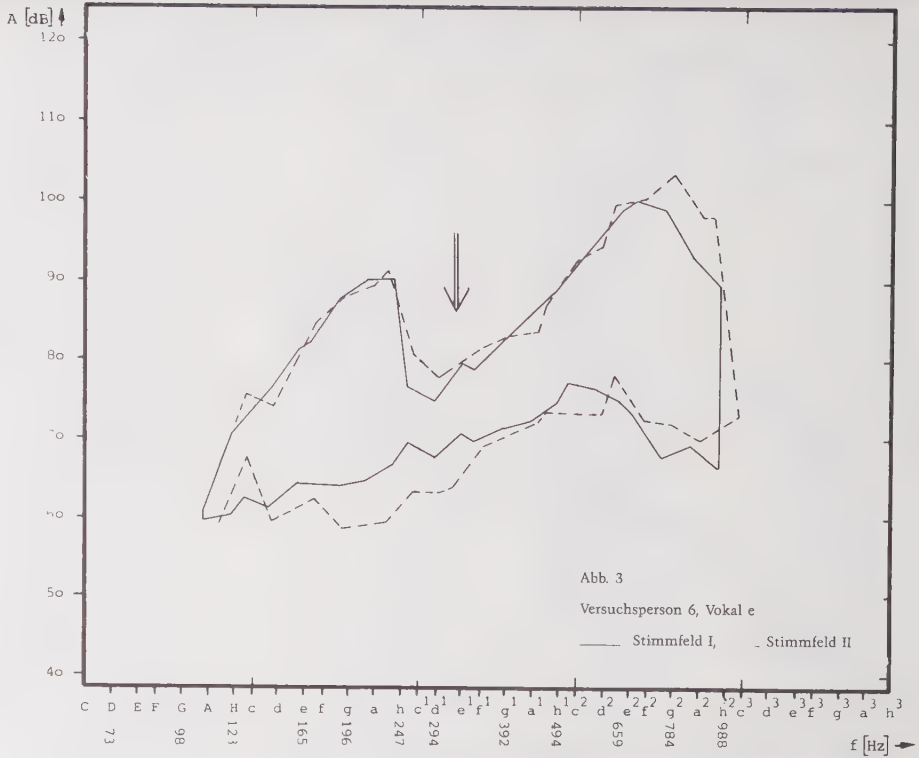


Abb. 3

Versuchsperson 6, Vokal e

——— Stimmfeld I, - - - Stimmfeld II

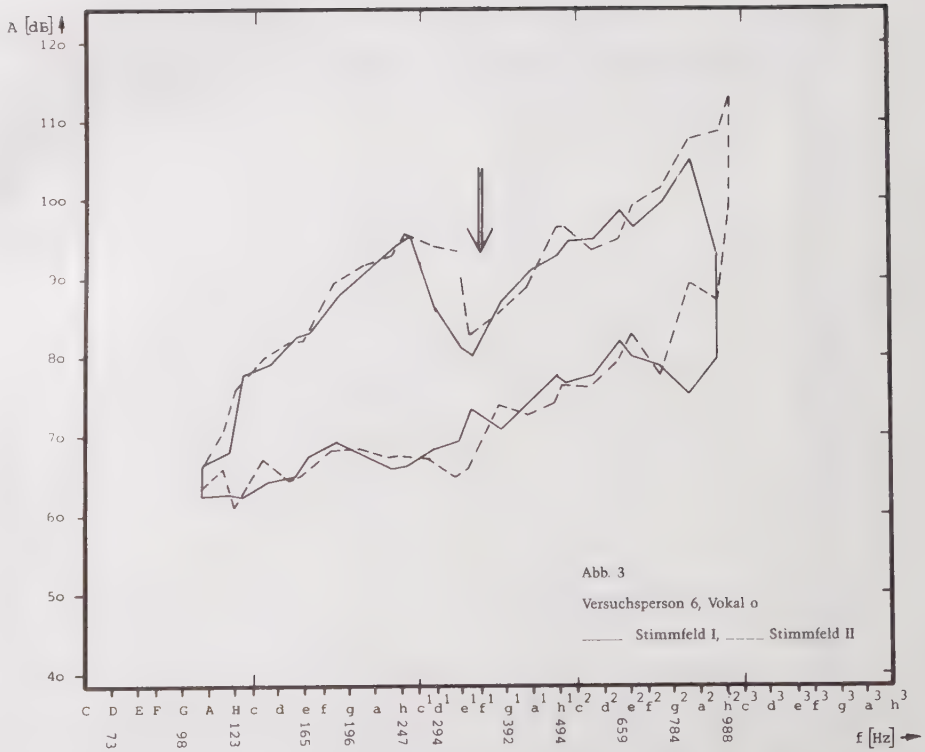


Abb. 3

Versuchsperson 6, Vokal o

——— Stimmfeld I, - - - - Stimmfeld II

Mengenmäßig ausgedrückt ergab sich, daß bei den insgesamt 70 angefertigten Stimmfeldern in nur drei Fällen überhaupt kein Registerübergang sichtbar war; in allen anderen Stimmfeldern waren an einer oder mehreren Stellen mehr oder weniger ausgeprägte Dynamikeinbrüche sichtbar.

Auffällig war weiterhin, daß der Bereich um den Ton c_1, unabhängig ob Frauen- oder Männerstimme, die bevorzugte Frequenz des Registerübergangs war. So fand sich bei 67 der 70 Stimmfelder im Bereich von c_1-e_1 ein sichtbarer Registerübergang. Nach verschiedenen Autoren (*Pfau, Nadoleczny, Loebell, Preissler* u.a.) deckt sich dieser Befund mit der Obergrenze des Brustregisters bei Frauenstimmen und der Obergrenze des Mittelregisters bei Männerstimmen.

Tabelle 2 Übersicht über die Lokalisationsverteilung des Registerübergangs bei 70 angefertigten Stimmfeldern (7 Versuchspersonen, jeweils zwei Stimmfelder auf die Vokale a, e, i, o und u). Jedes Kreuz bezeichnet ein Stimmfeld.

	Registerübergang bei c_1					Registerübergang nahe c_1					Kein Registerübergang sichtbar				
	a	e	i	o	u	a	e	i	o	u	a	e	i	o	u
VP 1		++		+	++			++	+		++				
VP 2	+	+	++	+	++	+	+		+						
VP 3		+	+	+	++	++	+	+	+						
VP 4		+	+	+	++	++	+	+	+						
VP 5	++	++	++	++	++										
VP 6	+	++	++	+	+	+			+	+					
VP 7				+	+	++	+	++	+	+		+			
			43					24					3		

Es ließ sich auch beobachten, daß zur Reproduktion der Registerübergänge eine gewisse Sicherheit der Stimme erforderlich ist. So waren z.B. bei den beiden Nichtsängern ohne Stimmerfahrung im ersten Stimmfeld deutliche Registerübergänge sichtbar, die im zweiten Stimmfeld entweder kaum mehr erkennbar oder um mehrere Töne verschoben waren; so bei Versuchsperson 5 auf den Vokal o, wo der sichtbare Übergang zum Kopfregister im zweiten Stimmfeld um fast eine Terz gegenüber dem ersten Stimmfeld nach oben verschoben ist (s. Abb. 4).

Bei Versuchsperson 1 fiel auf, daß insbesondere im Vokal a ein Registerübergang zwar hörbar (Klangänderung der Stimme, gepreßter Stimmklang im Forte), sich aber nicht als optisch sichtbare Verminderung der Lautstärke im Stimmfeld niederschlug. Bemerkenswert ist bei dieser Altstimme die beträchtliche Dynamik mit einem Spitzenwert von etwa 50 dB und der große Stimmumfang (s. Abb. 5).

Bezüglich *Vokalunterschieden* zeigte sich, daß der Vokal a in den Stimmfeldern aller Versuchspersonen die jeweils größte Dynamik aufwies, während bei den Vokalen o und u vergleichsweise geringere Dynamikwerte auftraten. Ansonsten ließen sich anhand der Stimmfelder keine weiteren Gesetzmäßigkeiten bezüglich Vokalbesonderheiten ableiten.

Abb. 4 Übereinanderprojektion von Stimmfeld I (_____) und Stimmfeld II (__ __ __) bei VP 5 auf o. Deutlich verschobener Registerübergang bei ungeübter Stimme.

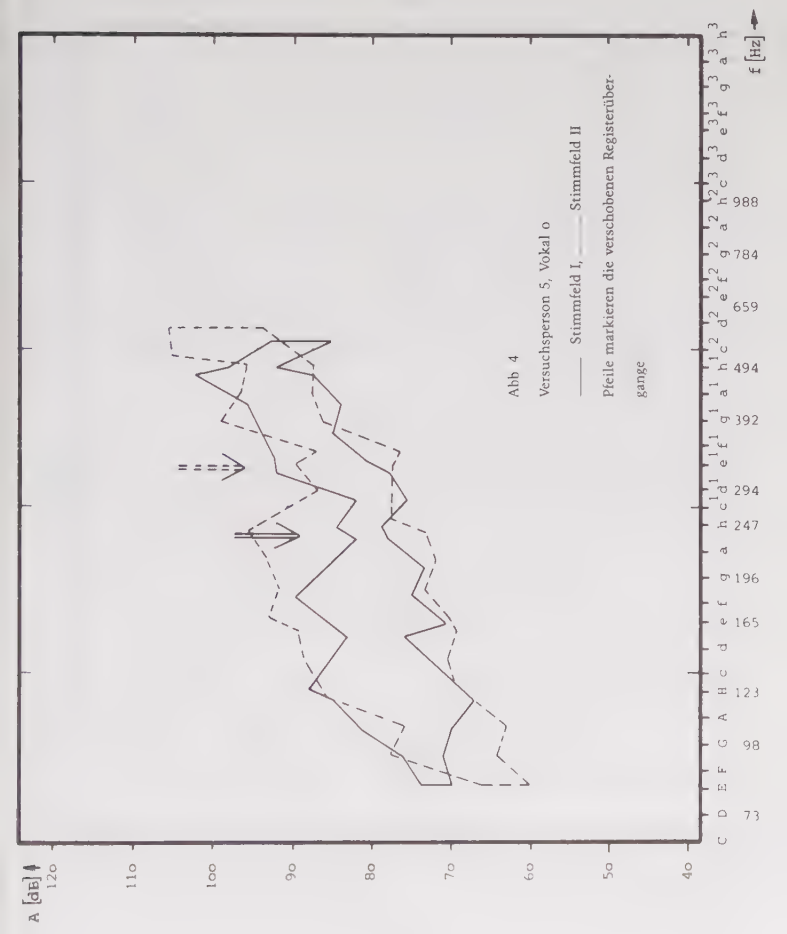
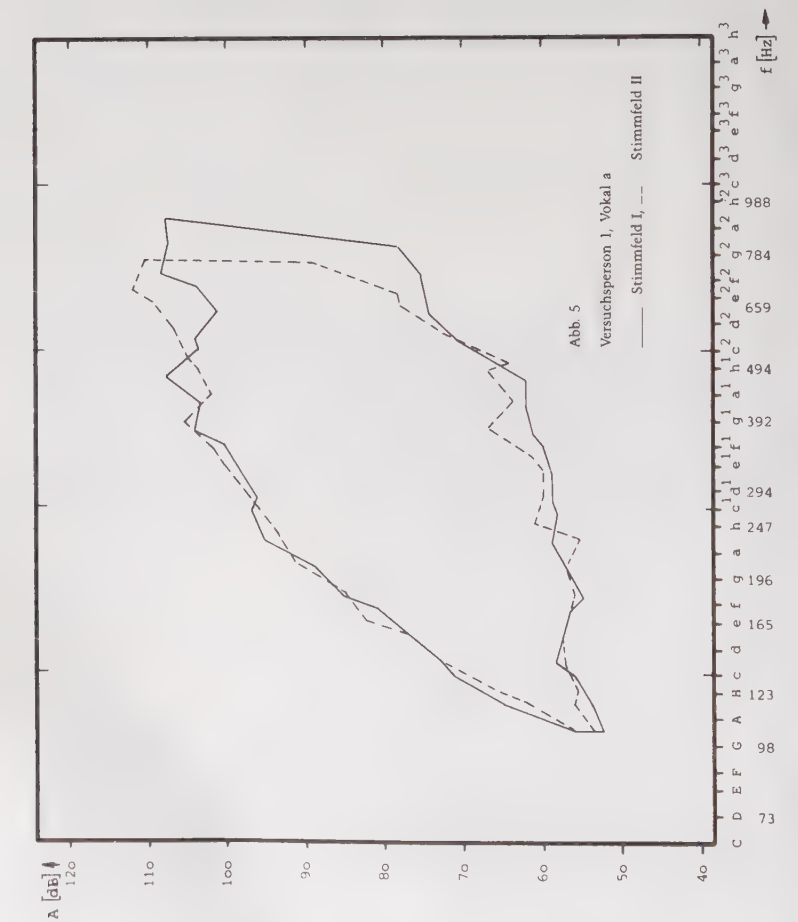


Abb. 5 Weitgehend identische Stimmfelder I und II ohne sichtbaren Registerübergang bei großer Dynamik. (————) Stimmfeld I, (— — —) Stimmfeld II.



2. *Tonhaltedauer*

Es fiel auf, daß die Fähigkeit zum Tonhalten unter den einzelnen Versuchspersonen erheblich schwankte. Der längste Wert betrug bei Versuchsperson 7 73 Sekunden (Vokal o, Ton d, 60 dB), während Versuchsperson 6 mit ihrem maximal erreichten Wert nur auf 22 Sekunden kam (Vokal a, Ton e_2, 80 dB). Beide Versuchspersonen sind Laiensänger mit etwa gleich großer Singerfahrung (mehrere Jahre Chorpraxis unter fachlicher Anleitung), wobei der lange Wert von einem Baß, der kurze Wert von einer Sopranistin stammt. Eine weitere Sopranistin, Versuchsperson 2, erzielte dagegen mit 71 Sekunden (Vokal i, Ton e, 80 dB) einen ähnlich langen Tonhaltewert wie der Baß, so daß von einer stimmtypenspezifischen Veranlagung bezüglich des Tonhaltens sicher nicht ausgegangen werden kann. Auch eine Beziehung zur Vitalkapazität läßt sich, wie oben schon erwähnt, nicht herstellen.

Tab. 3 gibt einen Überblick, wie sich die einzelnen Extremwerte der Tonhaltedauer im Stimmspektrum der Versuchspersonen verteilen.

Bei vier Versuchspersonen fiel der längste Tonhaltewert auf den Vokal i, jeweils bei einer auf die Vokale a, o, u. Weiterhin läßt sich feststellen, daß diese Einzelextremwerte der Tonhaltedauer überwiegend im mittleren Lautstärkebereich von 60-80 dB auftraten.

Betrachtet man die höchsten Werte der Tonhaltedauer nicht nur bezüglich des einen Extremwerts, sondern beachtet jene Bereiche, in denen *Häufungen* der relativ höchsten Werte auftreten, so fällt folgendes weitere auf:

1. Häufungen hoher Werte der Tonhaltedauer fallen überwiegend in das mittlere Brustregister und/oder das Kopfregister, teilweise in die höchsten erreichbaren Frequenzen.

2. In genau den Bereichen, die dem Registerübergang entsprechen, treten die relativ kürzesten Werte auf.

3. Das Verteilungsmuster der Tonhaltedauern in den einzelnen Vokalen bleibt konstant, so daß bei Versuchspersonen, bei denen die Bereiche der längsten Tonhaltewerte etwa im Brustregister lie-

Tabelle 3. Extremwerte der Tonhaltedauer (in Sek.) mit ihrer Lokalisation im Stimmfeld (Ton, dB-Wert).

	Vokal a			Vokal e			Vokal i			Vokal o			Vokal u		
	Sek	Ton	dB	Sek	Ton	dB	Sek	Ton	dB	Sek	Ton	dB	Sek	Ton	dB
VP 1	30	d	70	40	c	60	44	h	60	47	a	60	44	g	60
	31	c_1	65	40	h	60									
VP 2	54	c_1	85	52	c_1	85	71	e	80	68	d_1	95	71	g	80
	54	h_1	70												
VP 3	32	e_1	70	31	c_1	65	31	d_1	70	31	e_1	75	26	f_1	75
										31	e_1	70			
VP 4	35	c_2	80	29	c_2	80	36	f_1	75	33	g_1	70	33	e_1	70
				25	e	85							32	g_1	75
VP 5	32	c	70	38	a_1	90	46	G	65	45	H	70	39	f	70
				21	A	60	45	e	70						
VP 6	20	a	70	28	a	75	30	f	70	27	d	75	23	e	70
	22	e_2	80												
VP 7	45	e	65	50	d	60	60	g	65	73	d	60	72	a_1	70
													63	c	60

gen, dann durchgehend in allen Vokalen die relativ längsten Werte wieder im Brustregister auftauchen.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über diese Häufungen der Tonhaltedauern bei den einzelnen Versuchspersonen.

Tabelle 4. Verteilung von Häufungen hoher Werte der Tonhaltedauer (in Sek.) im Stimmfeld, nach Register und Lautstärkebereich.

Versuchsperson 1

Vokal	Befund
a, e	Brustregister (c-h), geringe Lautstärke (60-70 dB), 23-40 Sek. und Beginn des Kopfregisters (e_1-h_1), mittlerer Lautstärkebereich (65-80 dB), 24-35 Sek.
i, o, u	Im gesamten Brustregister verteilt, Lautstärkebereich 65-75 dB, 30-47 Sek.

Versuchsperson 2

Vokal	Befund
a, e	Brustregister bis nahe Registerübergang, mit zunehmender Frequenz vom mittleren bis hohen Lautstärkebereich aufsteigend (75-90 dB), 40-54 Sek. und Beginn des Kopfregisters (g_1-c_2), niedriger Lautstärkebereich (65-70 dB), 40-54 Sek.
i, o, u	Brustregister (d-d_1), mittlere Lautstärke (70-80 dB), 45-71 Sek.

Versuchsperson 3

Vokal	Befund
a, e, i, o, u	Unteres Kopfregister (d_1-h_1), geringe Lautstärke (70-80 dB), 24-32 Sek.

Versuchsperson 4

Vokal	Befund
a, e	Oberes Kopfregister (g_1-d_2), mittlere Lautstärke (70-85 dB), 17-35 Sek.
i, o, u	Gesamtes Kopfregister (c_1-d_2), mittlere Lautstärke (65-85 dB), 21-36 Sek.

Versuchsperson 5

Vokal	Befund
a	Brustregister (G-g), geringe und mittlere Lautstärke (60-80 dB), 20-32 Sek.
e	Hohes Kopfregister (a_1-c_2), große Lautstärke (85-95 dB), 17-38 Sek.
i, o, u	Brustregister (G-g), geringe bis mittelere Lautstärke (60-75 dB), 24-46 Sek.

Versuchsperson 6

Vokal	Befund
a, e	Keine besondere Häufung erkennbar
i, o, u	Unteres Brustregister (c-g), mittlere Lautstärke (65-75 dB), 16-30 Sek.

Versuchsperson 7

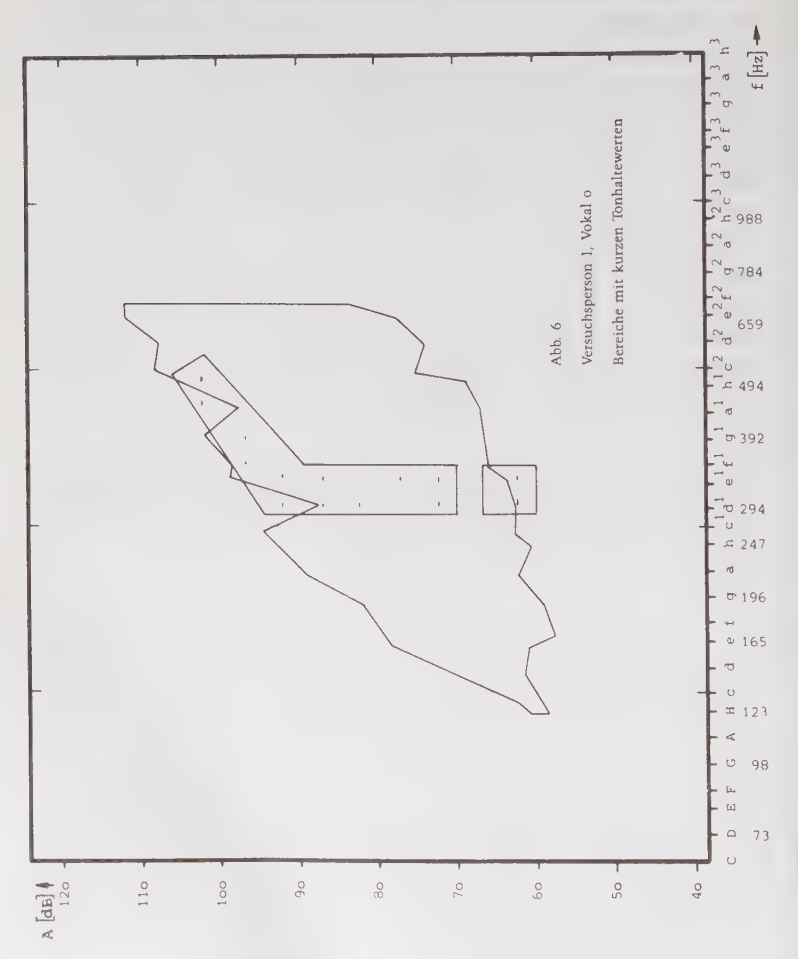
Vokal	Befund
a, e, i, o, u	Ungleichmäßige Verteilung in den Registern, unterer bis mittlerer Lautstärkebereich (60-75 dB), 40-73 Sek.

Entsprechend diesen Befunden, wonach bei fast allen Versuchspersonen die höchsten Tonhaltewerte im Brust- oder Kopfregister auftraten, fand sich im Bereich des im Stimmfeld sichtbaren bzw. gehörten Registerübergangs ein deutlicher Rückgang der Tonhaltedauer. Der Registerübergang ist somit eine Art „Schwachstelle" in der Leistungsfähigkeit des Stimmapparats, die sich auch in einer mangelnden Ausnutzung der zur Tonhaltung verfügbaren Atemluft ausdrückt.

Zur graphischen Darstellung dieses Befundes kann man die Bereiche, in denen plötzlich die Tonhaltewerte abfallen, in das dazugehörige Stimmfeld übertragen. Man sieht dann, wie sich der im Stimmfeld optisch als Kerbe oder als Einschnitt sichtbare Registerübergang als schmale Zunge oder Trichter fortsetzt. Dabei fällt auf, daß dieser Einschnitt nicht vertikal von oben nach unten durch das Stimmfeld zieht, sondern oft einen mehr treppenartigen Verlauf nimmt, was sich mit der Tatsache deckt, daß der Registerübergang selbst sich über ein Bereich von mehreren Tönen hinzieht, und zwar im Pianobereich bereits bei tieferen Frequenzen einsetzt und sich aufsteigend im Forte in höhere Frequenzbereiche fortsetzt.

In dieser Beziehung hat die Erfassung der Tonhaltedauer, die in 5-dB-Schritten gemessen wurde, den Vorteil, die im Stimmfeld „nur am Rande" sichtbaren Registerübergänge deutlicher zu strukturieren, wie die Beispiele in Abb. 6 zeigen.

Abb. 6 Stimmfelder mehrerer Versuchspersonen mit Kennzeichnung jener Bereiche, in denen niedrige Werte der Tonhaltedauer auftraten. Bei VP 7, einem Baß, fällt auf, daß in zwei Bereichen Häufungen kurzer Tonhaltewerte, entsprechend zwei Registerübergängen, auftreten — eine laut V. Barth bei Bässen regelmäßig auftretende Erscheinung.



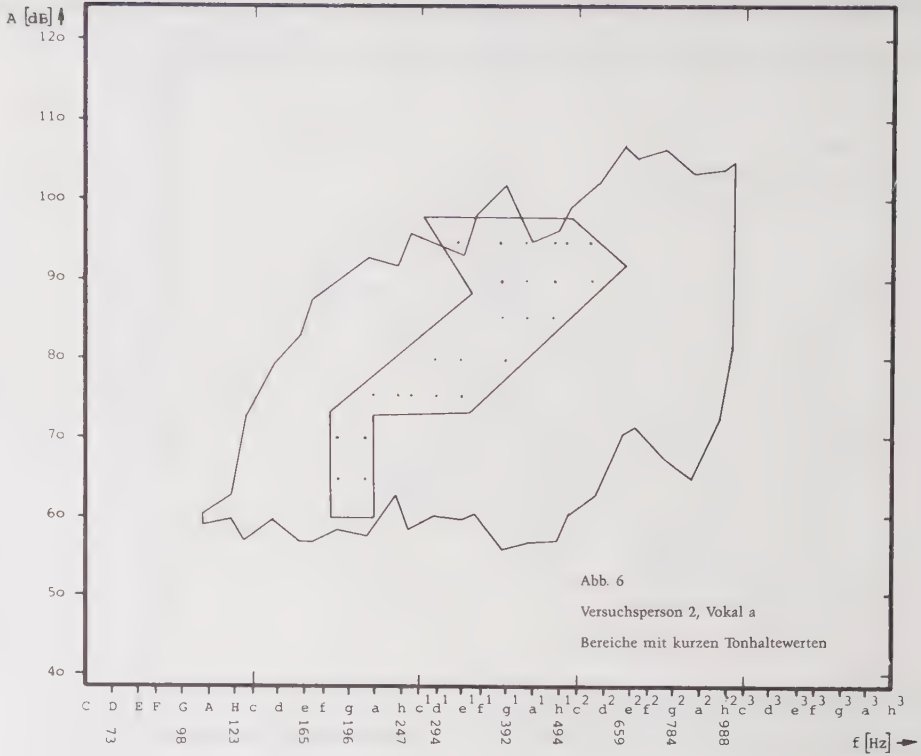


Abb. 6

Versuchsperson 2, Vokal a

Bereiche mit kurzen Tonhaltewerten

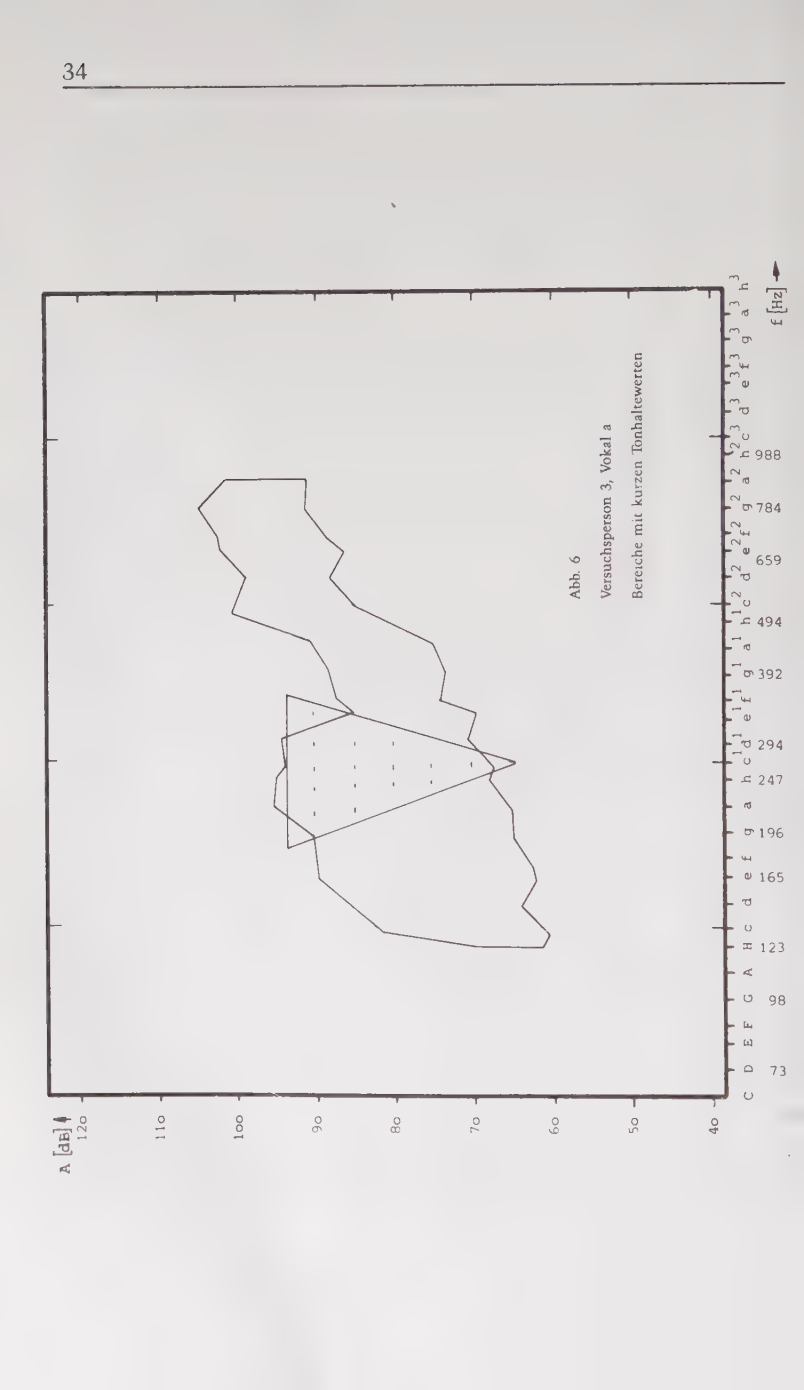


Abb. 6
Versuchsperson 3, Vokal a
Bereiche mit kurzen Tonhaltewerten

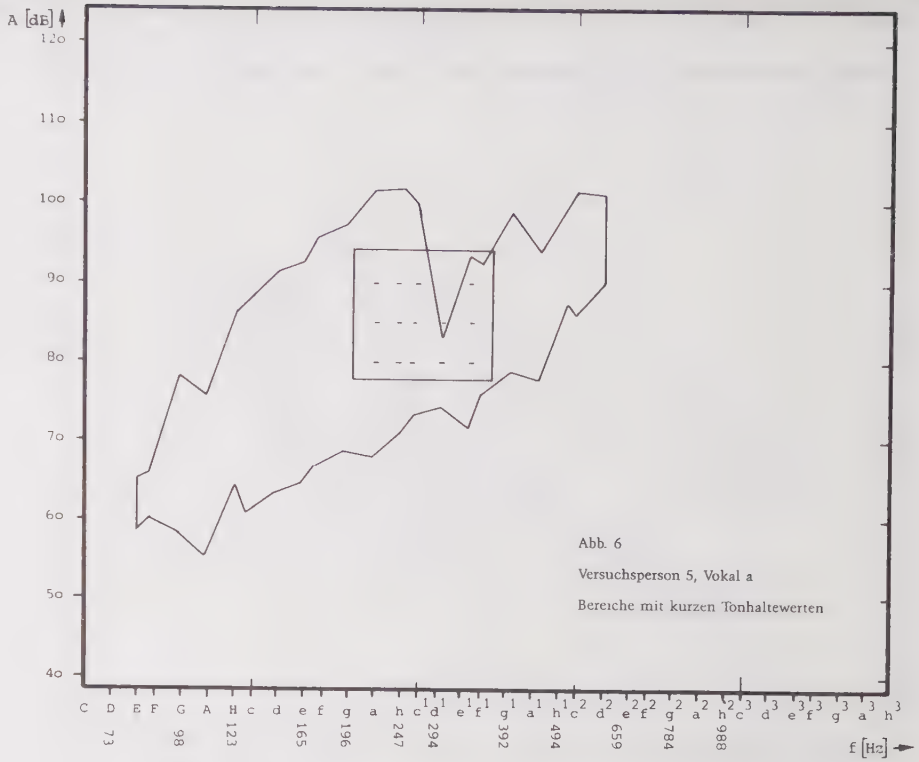


Abb. 6

Versuchsperson 5, Vokal a

Bereiche mit kurzen Tonhaltewerten

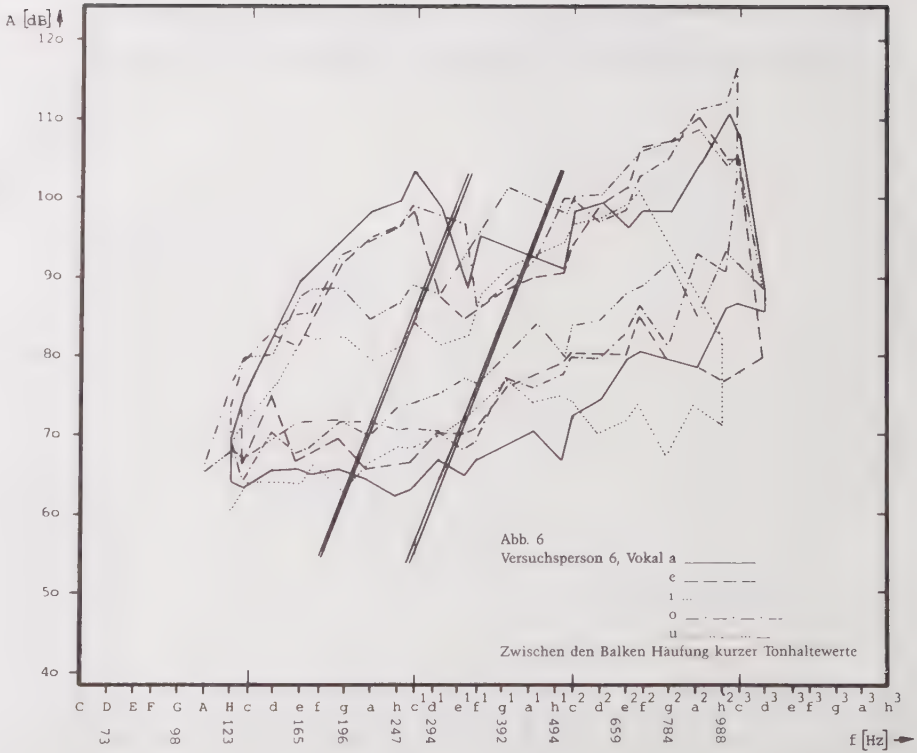


Abb. 6
Versuchsperson 6, Vokal a
e
i
o
u
Zwischen den Balken Häufung kurzer Tonhaltewerte

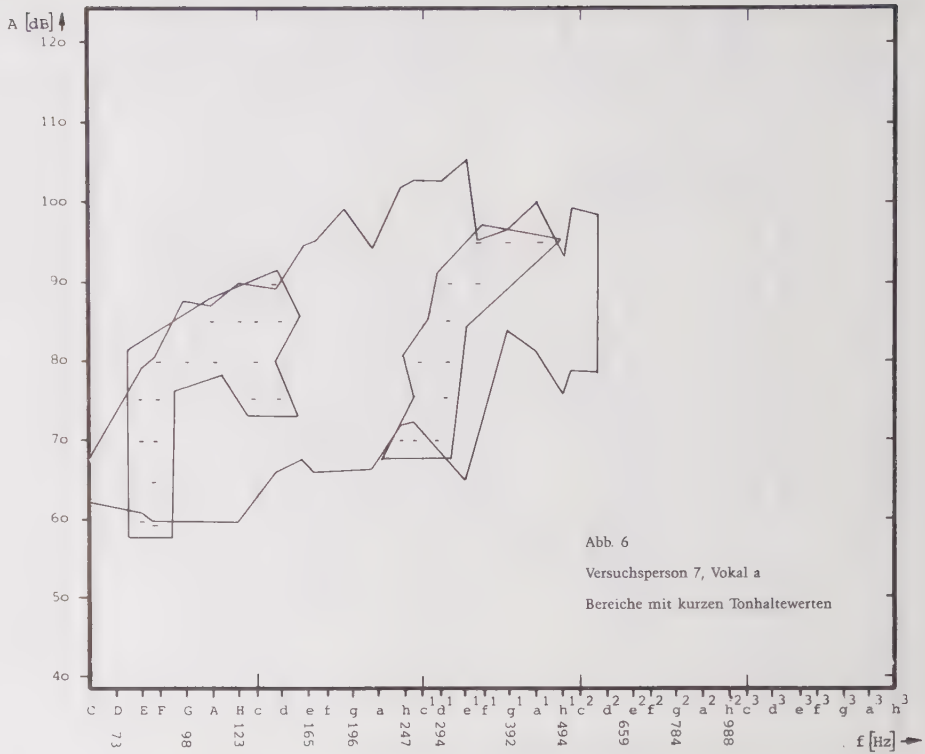


Abb. 6

Versuchsperson 7, Vokal a

Bereiche mit kurzen Tonhaltewerten

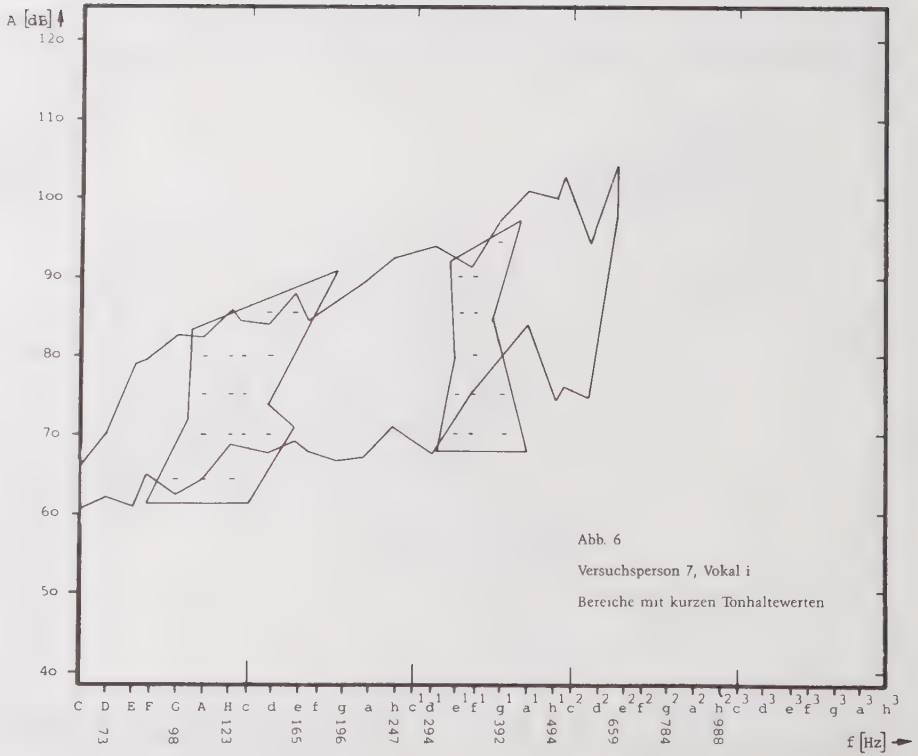


Abb. 6

Versuchsperson 7, Vokal i

Bereiche mit kurzen Tonhaltewerten

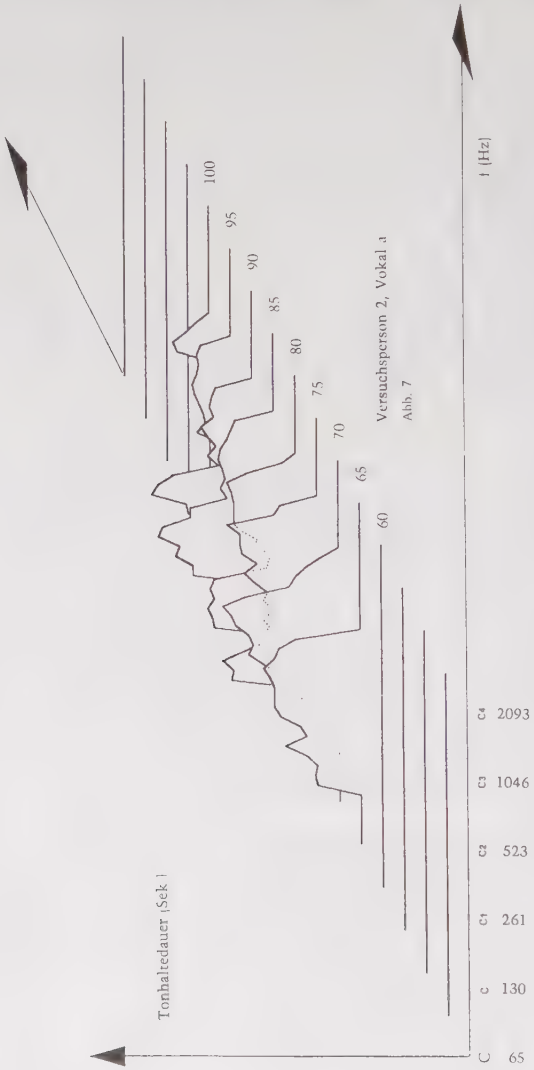
Eine graphisch sehr anschauliche Darstellungsweise der Tonhaltedauer ergibt sich, wenn man die ermittelten Zeiten gegen die Frequenz und die Lautstärke dreidimensional aufträgt. In der gewählten Darstellungsweise, wobei horizontal die Frequenz, vertikal geneigt die Lautstärkeschritte im 5-dB-Abstand und räumlich als „Gebirge" aufsteigend die Sekundenwerte der Tonhaltedauer dargestellt sind, kommen insbesondere alle Änderungen der Tonhaltedauer gut zum Ausdruck. Die z.T. deutlich sichtbaren „Täler" — in einigen Schaubildern wurden verdeckte Kurvenverläufe nachgezogen — entsprechen hierbei den Bereichen der Registerübergänge, wie sie zweidimensional bereits in Abb. 6 hervorgehoben wurden.

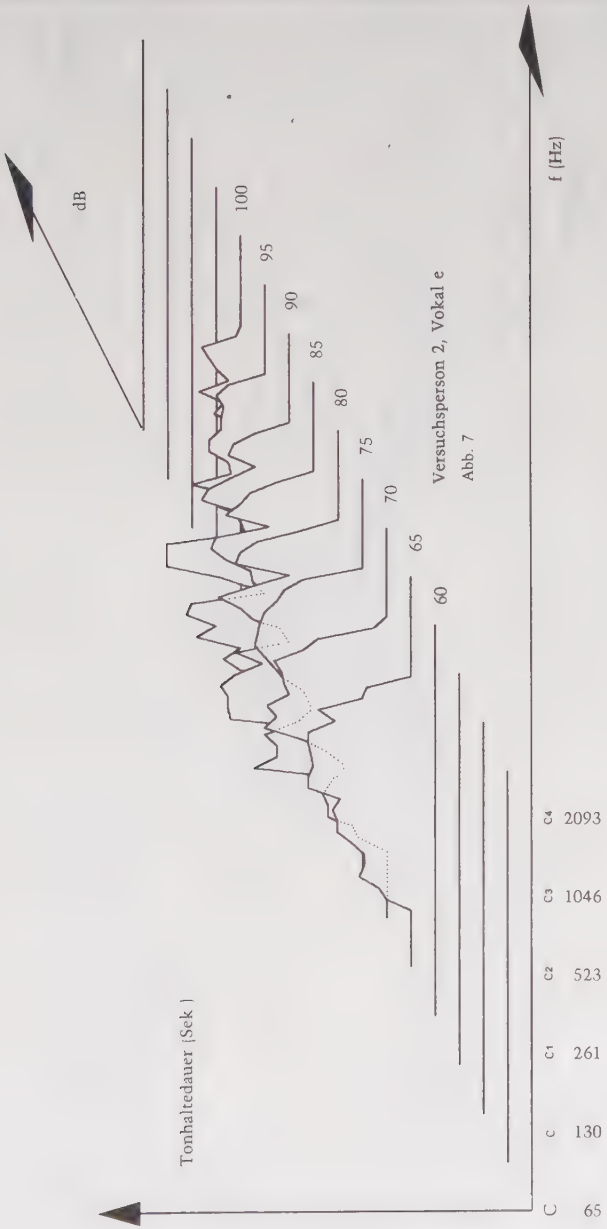
Die graphisch eindrucksvollsten Ergebnisse fanden sich bei den Versuchspersonen 2, 4, 5 und 6, wo auch die in Tab. 4 beschriebenen Bereiche hoher Werte der Tonhaltedauer als die relativ höchsten „Gipfel" sichtbar sind (s. Abb. 7).

Die vor allem im mittleren Lautstärkebereich von 70-90 dB auftretenden teilweise schroffen Einbrüche im Kurvenverlauf der Abb. 7 korrespondieren mit der plötzlichen Unfähigkeit der Sängerin, von einem bestimmten Ton an die zuvor außerordentlich langen Tonhaltezeiten fortzuführen. Charakteristischerweise beginnt dies im Piano bereits bei niedrigeren Frequenzen (f, g, a) und schreitet mit wachsender Lautstärke in höhere Frequenzen fort (bis f_1, g_1, a_1). Der so gekennzeichnete Registerübergang zieht also nicht bei einem Ton einfach durch alle Lautstärkebereiche, sondern verteilt sich in der Lautstärke aufsteigend über eine ganze Reihe von Tönen; im Falle von Versuchsperson 2 fast eine ganze Oktave.

In Abb. 7 kommt das Phänomen des Registerübergangs deshalb so gut zum Ausdruck, weil hier unmittelbar neben extrem langen Werten (bis zu 70 Sekunden) plötzlich extrem kurze Tonhaltewerte (weniger als 20 Sekunden) auftreten. Bei anderen Versuchspersonen, bei denen diese Differenzen weniger kraß ausfielen, bildeten sich entsprechend flachere Einschnitte aus.

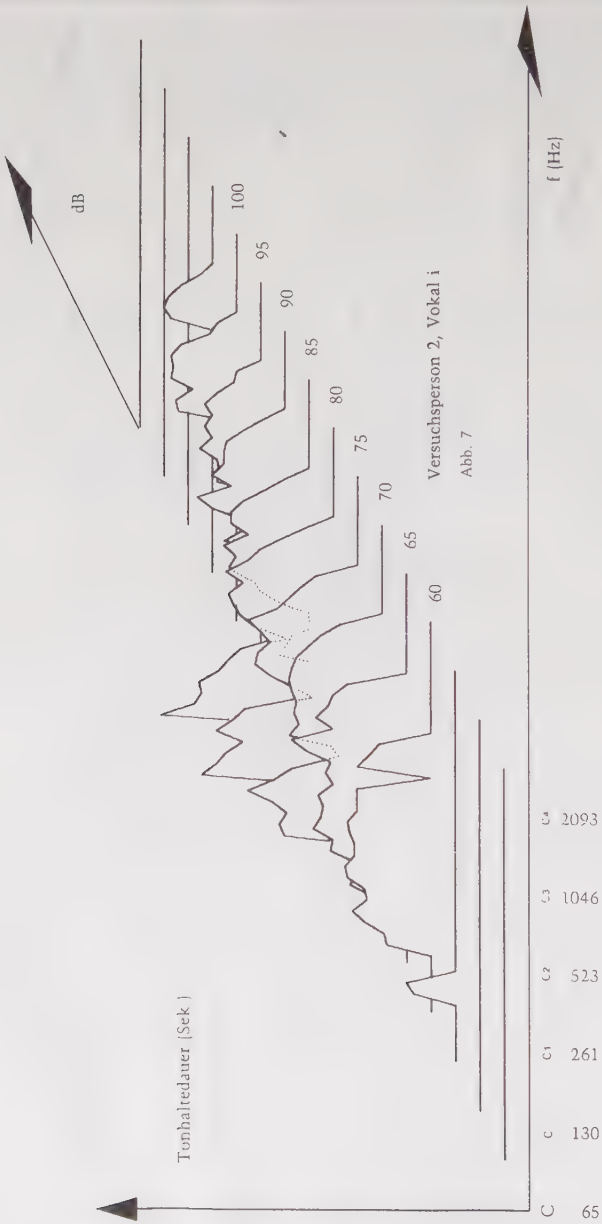
Abb.7 Dreidimensionale Darstellung der Tonhaltedauer gegenüber Frequenz und Lautstärke bei Versuchsperson 2 auf die Vokale a, e, i, o, u. Die punktierten Linien zeichnen den Verlauf einiger verdeckter Kurvenverläufe nach.





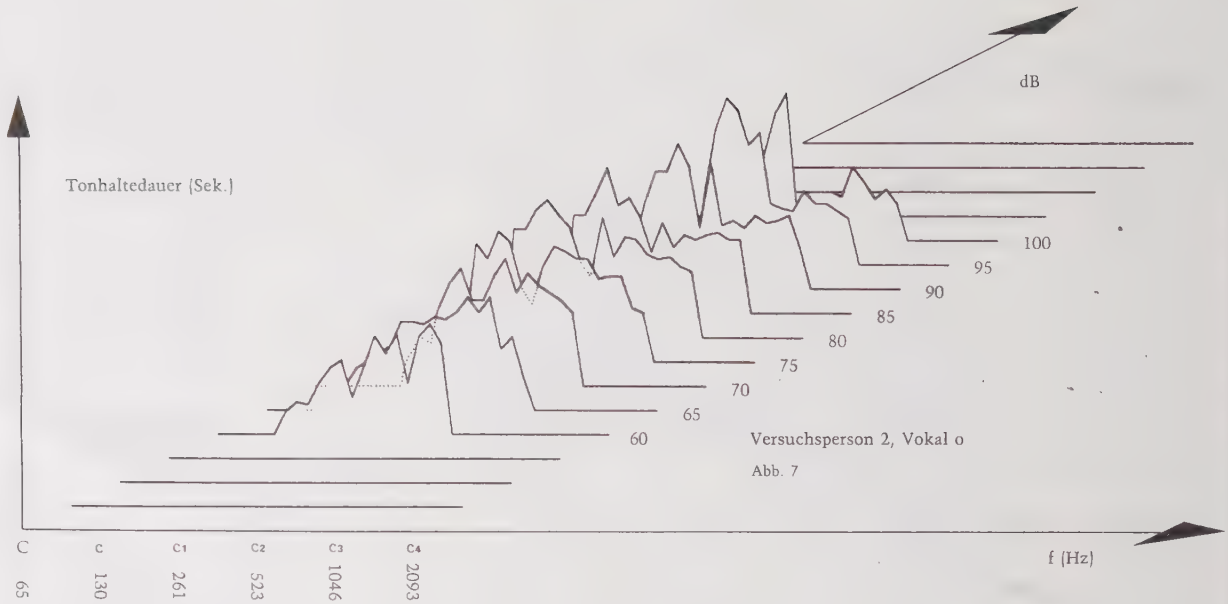
Versuchsperson 2, Vokal e

Abb. 7



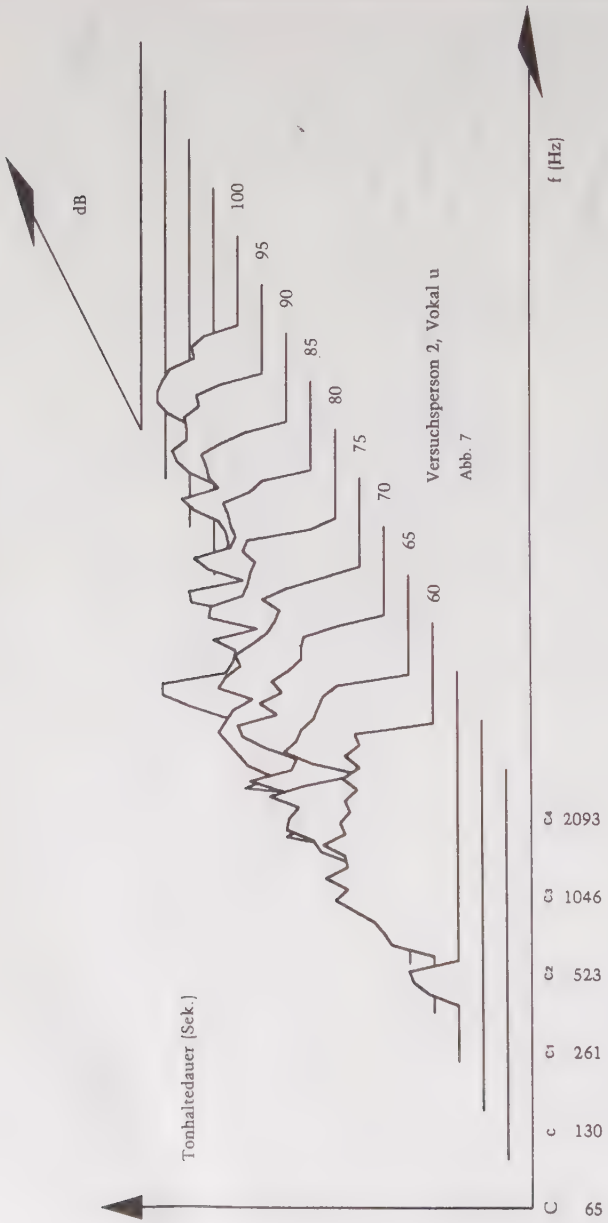
Versuchsperson 2, Vokal i

Abb. 7



Versuchsperson 2, Vokal o

Abb. 7



Versuchsperson 2, Vokal u

Abb. 7

Eine Aufstellung der absoluten Meßwerte für die Tonhaltedauer von Versuchsperson 2 aus den Bereichen der tiefen „Täler" (Tabelle 5) macht diesen Befund noch deutlicher.

Tabelle 5 Übersicht über die absoluten Meßwerte der Tonhaltedauer von Versuchsperson 2 im Bereich der Registerübergänge. Die hervorgehobenen Zahlenwerte entsprechen den „Tälern" in Abb. 7.

Vokal a

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60															
65				35	**25**	**28**	37	40							
70				24	**22**	**22**	30	35	42						
75				44	34	**24**	**25**	**22**	**23**	**25**	**23**	29	34		
80							40	38	**17**	**16**	**23**	**22**	27	29	
85								54	52	39	39	**22**	**25**	**23**	
90								47	44	37	**16**	**21**	**17**	**21**	24
dB															

Vokal e

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60															
65		21	**19**	**19**	24	30									
70					26	23	**16**	**18**	25	35					
75						40	27	**16**	**18**	26	32				
80						48	42	31	42	**19**	**24**	35	40	49	
85								52	50	**21**	**25**	**26**	36	42	
90								50	50	50	**18**	**20**	**22**	36	33
95											30	**14**	**15**	23	23
dB															

Vokal i

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60			32	**26**	**27**	34	35								
65				**31**	**30**	38									
70					55	44	37	**20**	**23**	38					
75						58	51	46	**23**	**27**	36	42			
80			71				47	43	38	**23**	**32**	38	41		
85							**0**	**0**	**8**	**21**	**23**	33			
90										25	**17**	**18**	30	36	
dB															

Vokal o

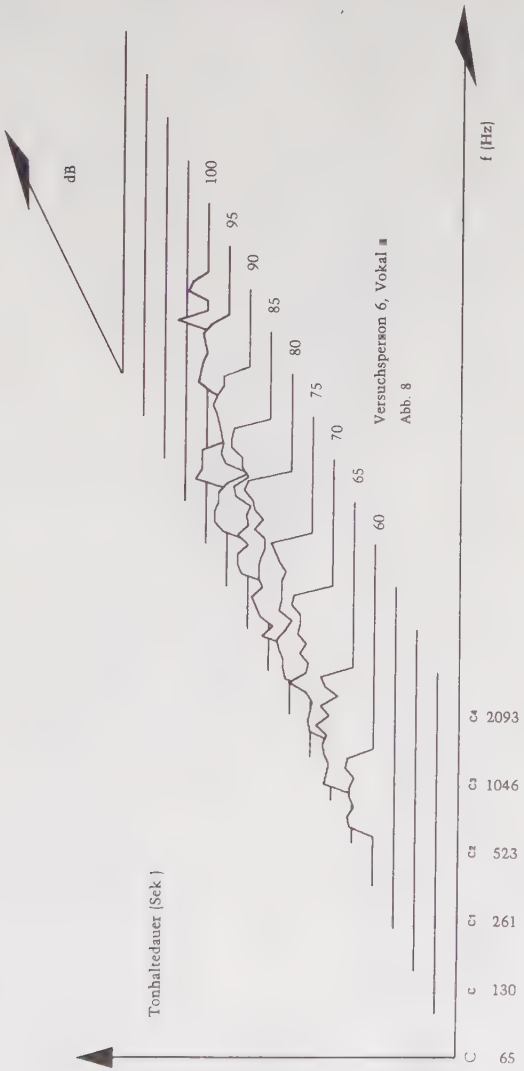
	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2	
60					30	**15**	27	40								
65				**23**	**26**	36	36									
70			23	**18**	32	42	48	**35**	**35**	45	52					
75						53	49	**32**	**25**	39	47					
80						56	50	45	**31**	**27**	49					
85							59	44	47	**39**	**25**	**37**				
90									59	50	**25**	51	**26**			
95									68	63	49	54	**25**	**23**	**22**	30
100									52	60	**12**	**20**				
dB																

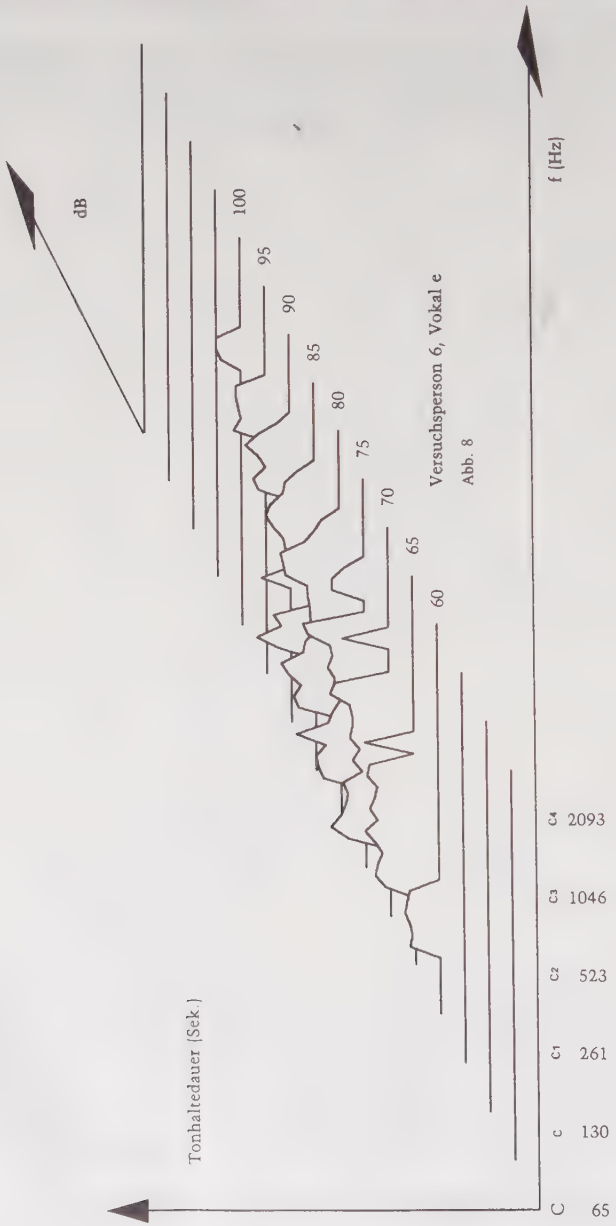
Vokal u

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60															
65									57	42	**20**	40	51		
70					41	55	**38**	**36**	49	58	60				
75							55	52	**44**	58	55				
80						71	45	42	41	50	**32**	52	51		
85									49	50	**28**	42	48		
dB															

Im Gegensatz zu den scharfen Einschnitten im Tonhalteschaubild von Versuchsperson 2 ist bei Versuchsperson 6 in allen Vokalen eine relativ breitere, flachere Mulde als Ausdruck des Registerübergangs erkennbar. Die Stimme benötigt hier einen größeren Frequenzbereich, um die Phase der relativ schlechten Atemausnutzung im Rahmen des Registerwechsels zu überwinden.

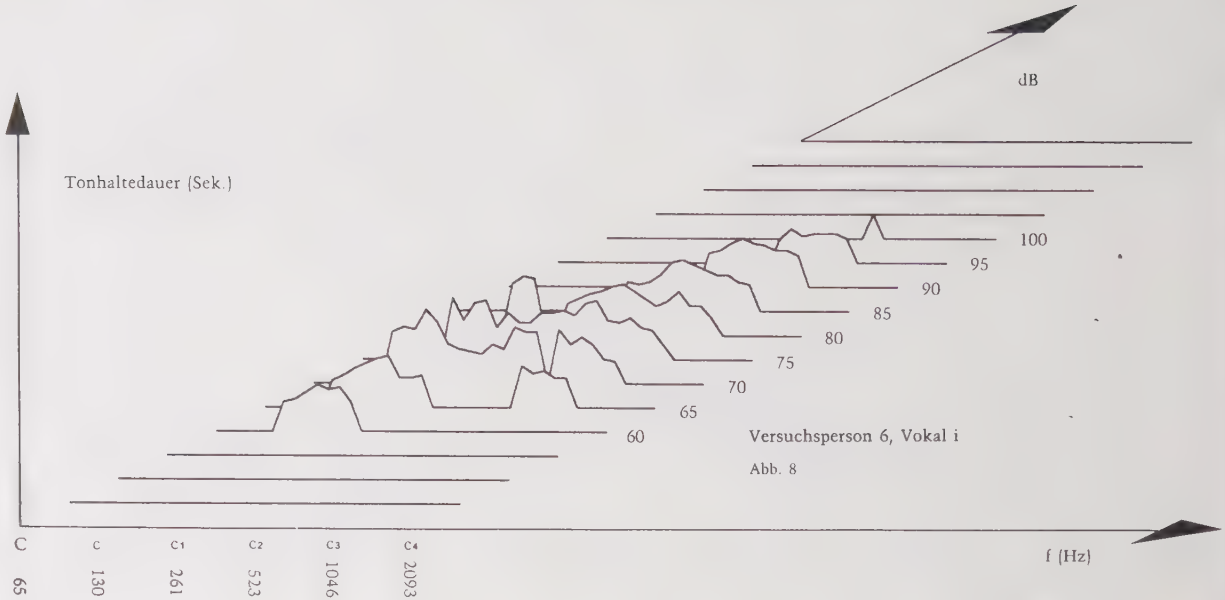
Abb. 8 Dreidimensionale Darstellung der Tonhaltedauer gegenüber Frequenz und Lautstärke bei Versuchsperson 6 auf die Vokale a, e, i, o, u. Sichtbar sind in den einzelnen Lautstärkeschritten die hier auffällig breiten Registerübergänge.





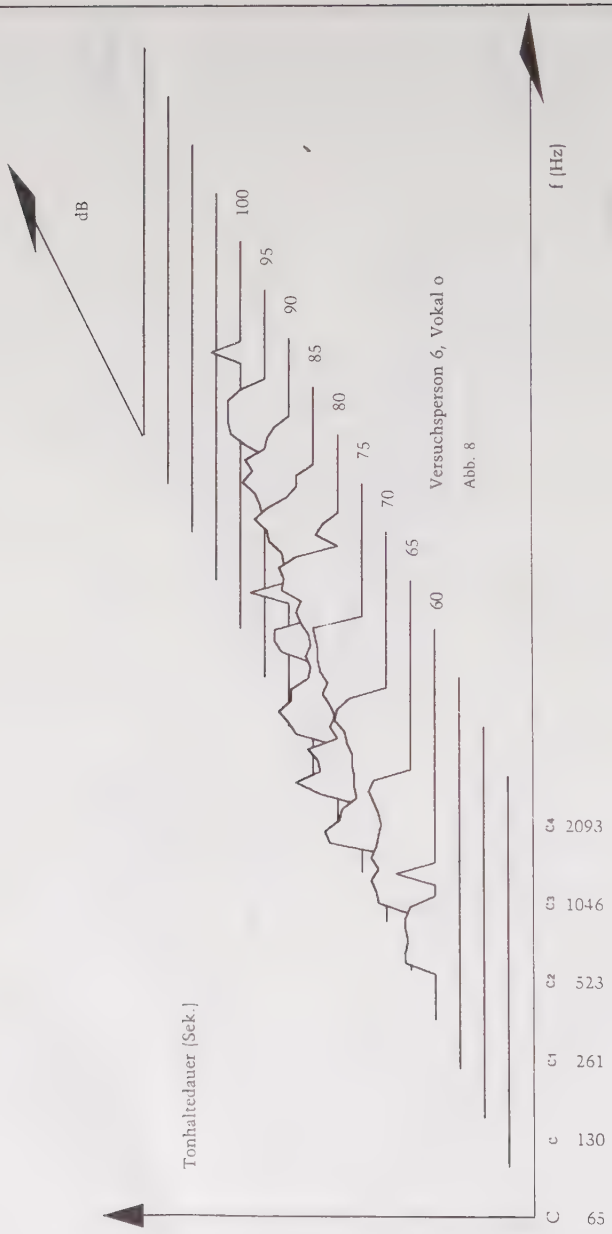
Versuchsperson 6, Vokal e

Abb. 8



Versuchsperson 6, Vokal i

Abb. 8



Versuchsperson 6, Vokal o

Abb. 8

Versuchsperson 6, Vokal u

Abb 8

Wie bei Versuchsperson 2 fallen auch hier die Werte nach ihrem Höchststand im Brustregister steil ab (nach der Lautstärke aufsteigend im Frequenzbereich von g-c_1), um dann zum Kopfregister aber wesentlich flacher wieder anzusteigen. Die Absolutwerte von Versuchsperson 6 liegen hierbei durchschnittlich um die Hälfte niedriger als bei Versuchsperson 2, doch die Relation zwischen längsten und kürzesten Tonhaltewerten in diesem Bereich stimmt bei beiden weitgehend überein.

In Tabelle 6 sind die Tonhaltewerte im Bereich der Registerübergänge von Versuchsperson 6 zusammengestellt.

Tabelle 6 Übersicht über die absoluten Meßwerte der Tonhaltedauer von VP 6 im Bereich der Registerübergänge. Die hervorgehobenen Zahlen entsprechen den „Mulden" in Abb. 8.

Vokal a

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60															
65						17	**11**	**15**	**7**						
70						20	**12**	**11**	15						
75					15	16	**12**	**9**	15						
80					16	18	**13**	**15**	15	14	**12**	**12**	17		
85								15	**10**	**11**	**9**	16	17		
90								14	**10**	**0**	**11**	13			
95								12	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	8	14
dB															

Vokal e

	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2	d_2	e_2
60															
65				20	**15**	18	**16**	**15**	19						
70				19	**11**	**15**	**12**	**16**	**15**	**15**	**16**	24			
75				28	**15**	**13**	**10**	**13**	**12**	**15**	**13**	**14**	23		
80						24	**15**	**14**	**10**	**12**	**12**	**13**	**13**	22	
85				24	**14**	17	**0**	**0**	**0**	**0**	**10**	**12**	**13**	17	20
90															
dB															

Vokal i

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60					18	**12**	**0**	**0**	**0**						
65				20	21	**12**	**12**	**13**	**0**	**0**	**0**				
70				30	25	**16**	**14**	**13**	**12**	**16**	**14**	23			
75				23	24	**19**	**15**	**15**	**19**	**19**	**20**	**18**	23	24	
80				24	23	**0**	**0**	**13**	**15**	**17**	18	20	21		
85								**0**	**12**	**11**	**12**	**15**	20	21	
90															
dB															

Vokal o

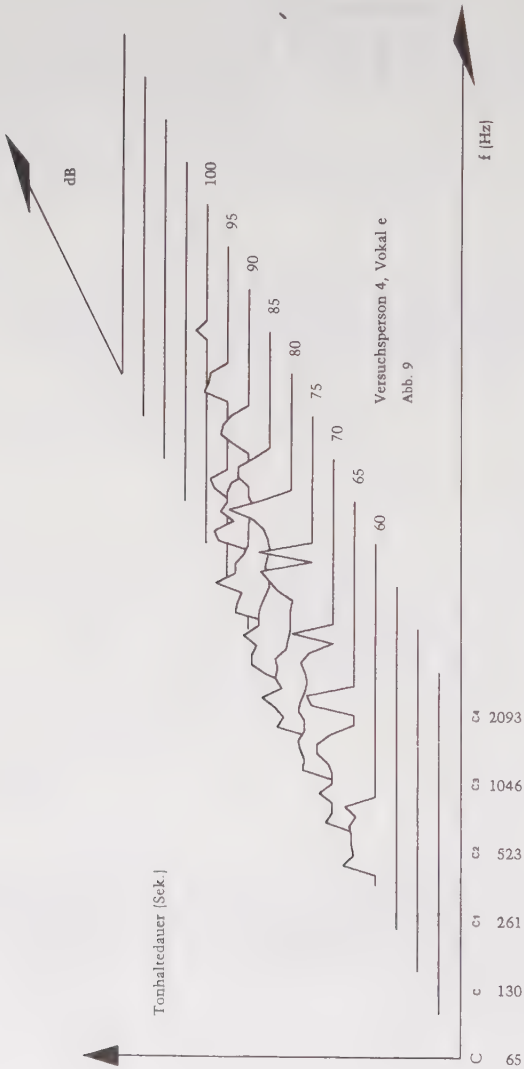
	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60			12	**10**	**0**	**0**	16								
65				16	14	**13**	**12**	**13**	15						
70		25	19	18	**12**	**13**	**13**	**14**	**14**	16					
75		27	17	18	22	**10**	**13**	**11**	**13**	16					
80				24	19	19	**12**	**11**	**13**	**11**	15	17			
85							16	**0**	**0**	**0**	**0**	**13**			
90						16	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**			
dB															

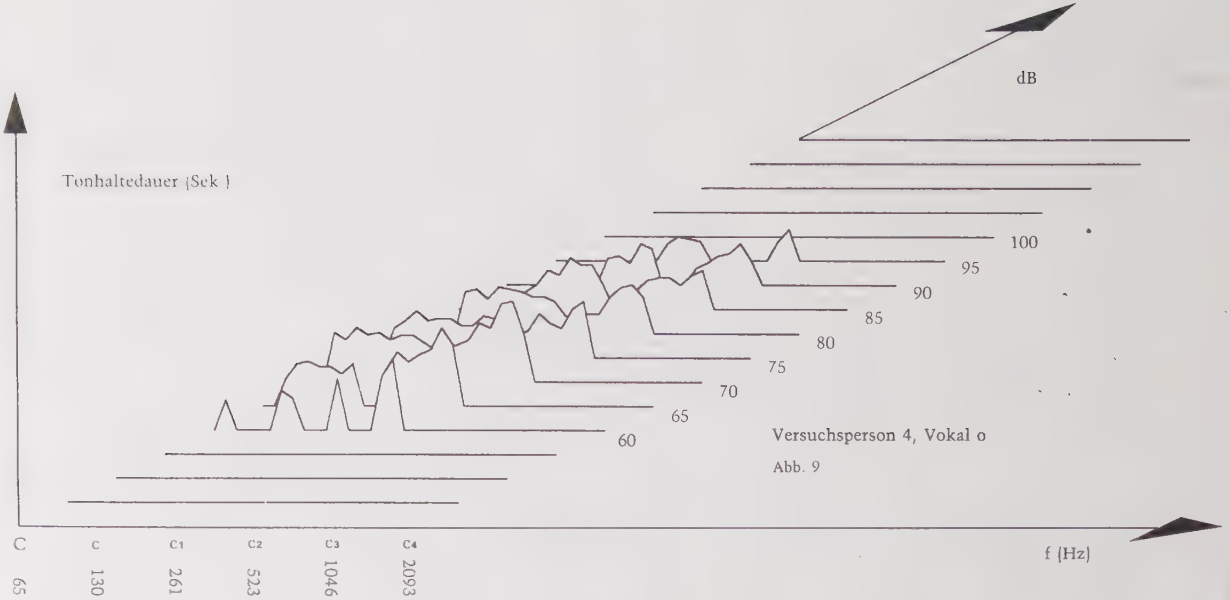
Vokal u

	c	d	e	f	g	a	h	c_1	d_1	e_1	f_1	g_1	a_1	h_1	c_2
60			20	**0**	**0**	**0**	**0**								
65					22	**12**	**13**	**11**							
70			23	19	17	**12**	**13**	**11**	**12**	17					
75			22	20	**16**	**16**	**17**	**10**	**13**	**16**	**15**	**17**	21		
80						17	16	**13**	**13**	**17**					
85								**0**	**12**	**12**	14	15			
90									**0**	**11**	**11**	13	15		
dB															

Auch im Falle der Nichtsänger, der Versuchspersonen 4 und 5, gelang die Darstellung dieses Phänomens, daß in der mittleren Stimmlage die Werte der Tonhaltedauer absinken und im dreidimensionalen Ausdruck eine deutlich sichtbare Mulde hinterlassen (s. Abb. 9).

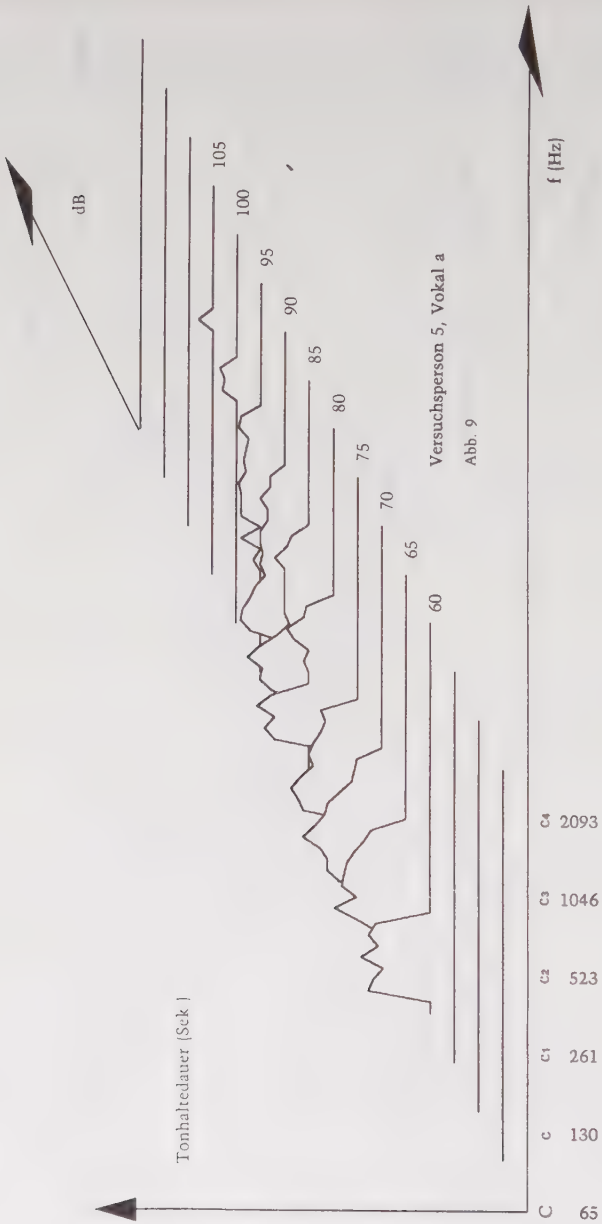
Abb. 9 Dreidimensionale Darstellung der Tonhaltedauer gegenüber Frequenz und Lautstärke bei den Versuchspersonen 4 (auf die Vokale e und o) und 5 (auf den Vokal a).





Versuchsperson 4, Vokal o

Abb. 9



Versuchsperson 5, Vokal a

Abb. 9

3. 3-KHz-Formant

Die Auswertung des 3-KHz-Formanten erfolgte im Rahmen dieser Arbeit nur stichprobenhaft an jeweils zwei Vokalen von Versuchsperson 2 und Versuchsperson 6, um ein weiteres objektives Kriterium zur Bewertung der Stimmqualität mit den Befunden aus Stimmfeld und Tonhaltedauer zu korrelieren. Spektralanalytische Untersuchungen (12, 15, 18, 21, 22) haben bei Qualitätsstimmen immer wieder Energiekonzentrationen im Bereich von 2500-3000 Hz (je nach Stimmlage) ergeben. Entsprechende Untersuchungen an Opernsolisten von *Seidner, Wendler* et al. (15) zeigten insbesondere eine deutliche Beziehung zwischen den Formantwerten im Bereich von 2500 bzw. 3150 Hz und der Registerstruktur der untersuchten Stimme — Ergebnisse, die sich jedoch bei einer ebenfalls von *Seidner* untersuchten Gruppe von Laienchorsängern nicht in der gleichen Deutlichkeit beobachten ließen.

Die eigenen Untersuchungen an zwei Laienchorsängerinnen zeigten ebenfalls im Spektralbereich von 3 KHz zum Teil erhebliche Unregelmäßigkeiten, so daß nur bei Versuchsperson 2 Beziehungen zu den Ergebnissen der Stimmfeld- und Tonhaltedauermessungen sichtbar wurden. Bei Versuchsperson 6 verteilten sich die Teiltonenergien im Bereich des 3-KHz-Formanten relativ gleichmäßig über den gesamten Stimmumfang, so daß keine Gesetzmäßigkeit bezüglich Registerstruktur oder anderer Stimmcharakteristika abzulesen war.

Nur die Befunde von Versuchsperson 2 (Vokal i und u) zeigten eine Verteilung der Spektralwerte bei 3 KHz, die sich mit den Befunden aus Stimmfeld und Tonhaltedauer korrelieren läßt. Analysiert wurden bei Versuchsperson 2 alle Töne des Stimmumfangs auf dem Lautstärkeniveau von 75 dB, und es zeigte sich, daß in der mittleren Tonlage von c_1-c_2 im betreffenden Spektralbereich sehr viel niedrigere Energiekonzentrationen auftraten als in der tiefen Stimmlage (f-h) und besonders der hohen Stimmlage (d_2-a_2). In der mittleren Stimmlage fanden sich auch bei der Stimmfeldmessung die niedrigsten Dynamikwerte sowie die kürzesten Tonhaltedauern.

In den Abbildungen 10 und 11 werden diese Befunde von den Vokalen i und u der Versuchsperson 2 demonstriert. Das erste Schaubild zeigt jeweils die Spektralwerte gegenüber dem gesamten Tonumfang und der Lautstärke und erlaubt einen guten Überblick über die Gesamtverteilung der Teiltonenergien in den einzelnen Stimmlagen.

Abb. 10 Spektralanalytische Darstellung aller Töne des Stimmumfangs von Versuchsperson 2, Vokal u, auf 75 dB Lautstärke. Die räumliche Darstellung ermöglicht einen guten Überblick über die einzelnen Formantbereiche. Deutlich sichtbar ein erheblicher Energierückgang im Bereich des 3-KHz-Formanten in der mittleren Stimmlage zwischen e_1 und e_2. An drei Einzeltonspektren aus der tiefen, mittleren und hohen Stimmlage (g, f_1, a_2) wird dieser Befund noch weiter demonstriert.

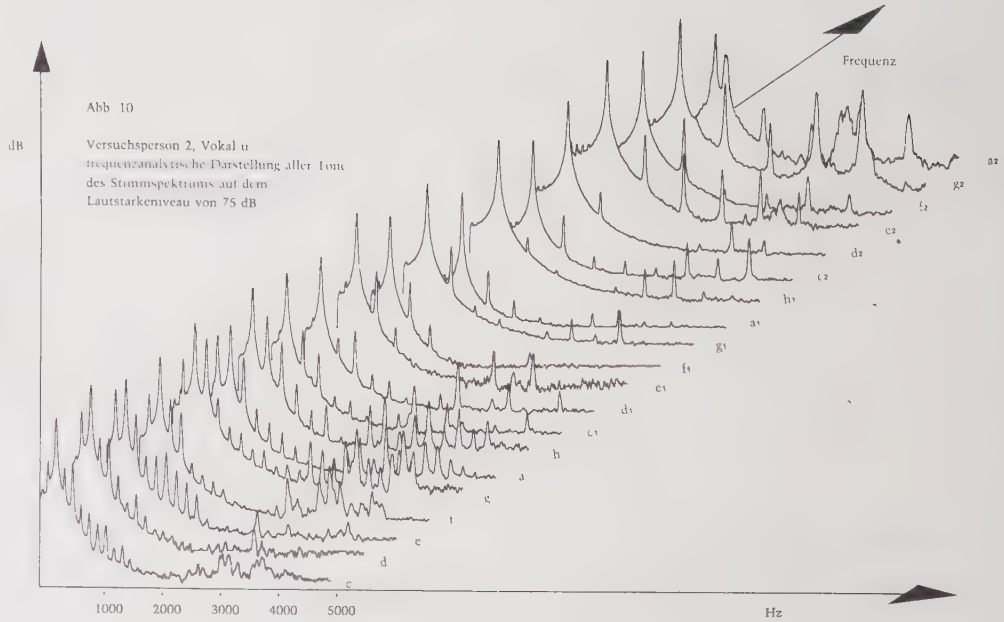


Abb 10

Versuchsperson 2, Vokal u
frequenzanalytische Darstellung aller Töne
des Stimmspektrums auf dem
Lautstärkeniveau von 75 dB

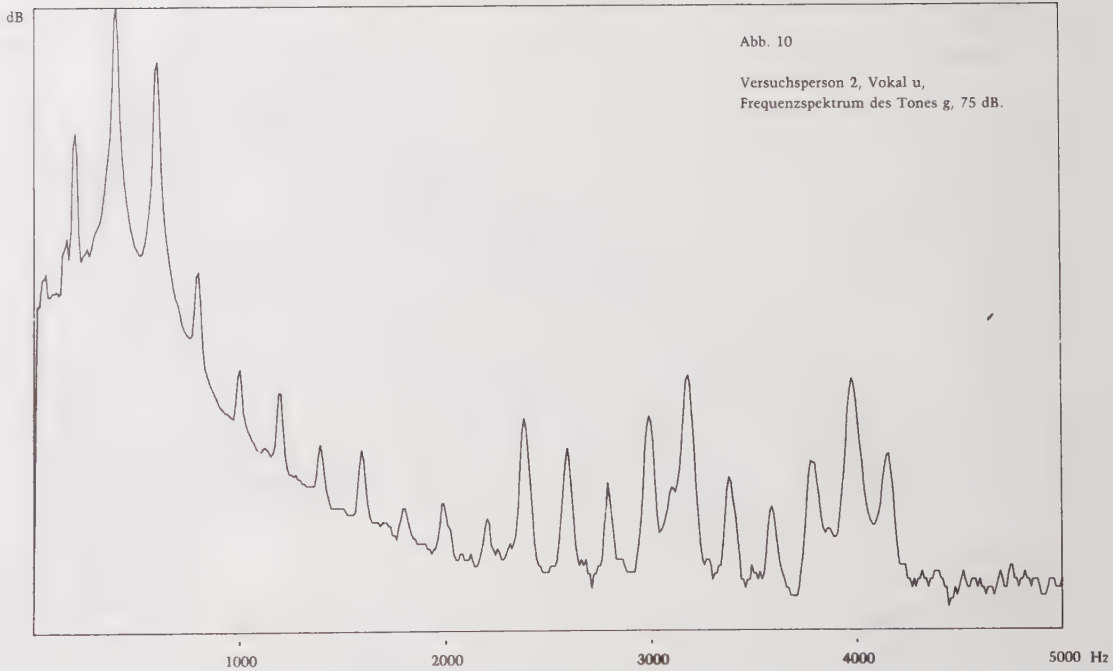


Abb. 10

Versuchsperson 2, Vokal u,
Frequenzspektrum des Tones g, 75 dB.

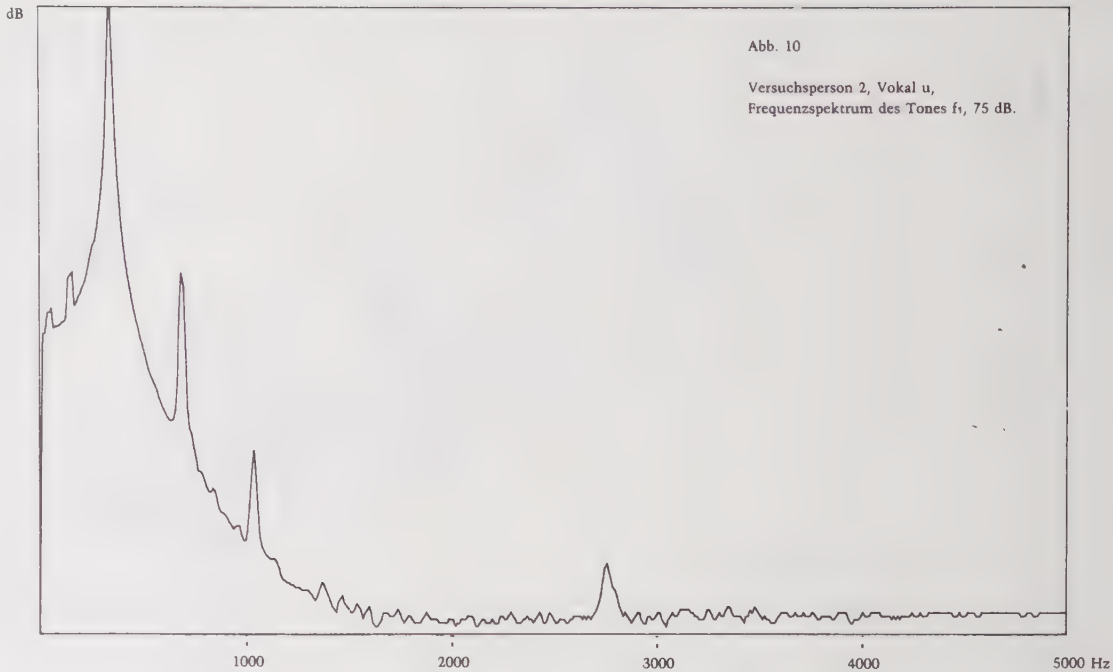


Abb. 10

Versuchsperson 2, Vokal u,
Frequenzspektrum des Tones f_1, 75 dB.

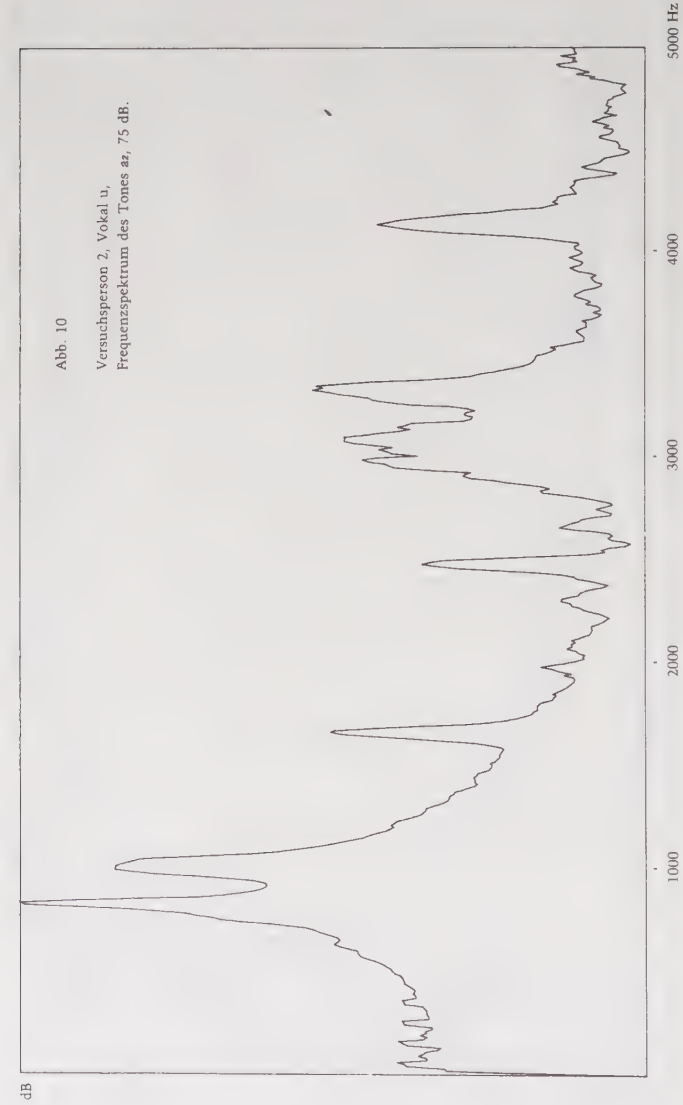
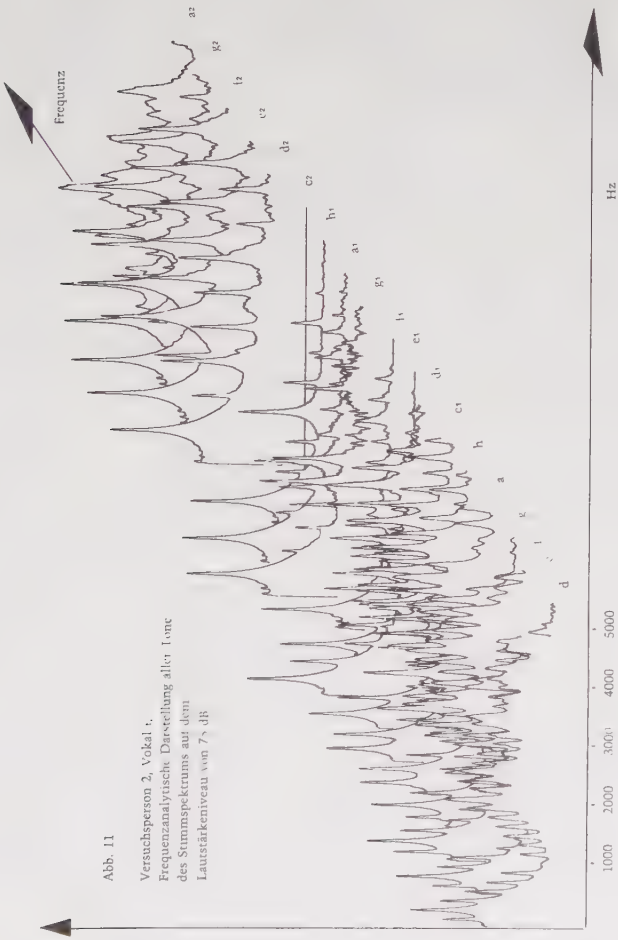


Abb. 10

Versuchsperson 2, Vokal u,
Frequenzspektrum des Tones az, 75 dB.

Abb. 11 Spektralanalytische Darstellung aller Töne des Stimmumfangs von Versuchsperson 2, Vokal i, auf 75 dB Lautstärke. Sichtbar wie in Abb. 10 deutlich niedrigere Werte im Formantbereich um 3000 Hz zwischen d_1 und c_2. Auch hier Demonstration dieses Befunds an drei Einzeltonspektren aus der tiefen, mittleren und hohen Stimmlage (f, e_1, g_2).



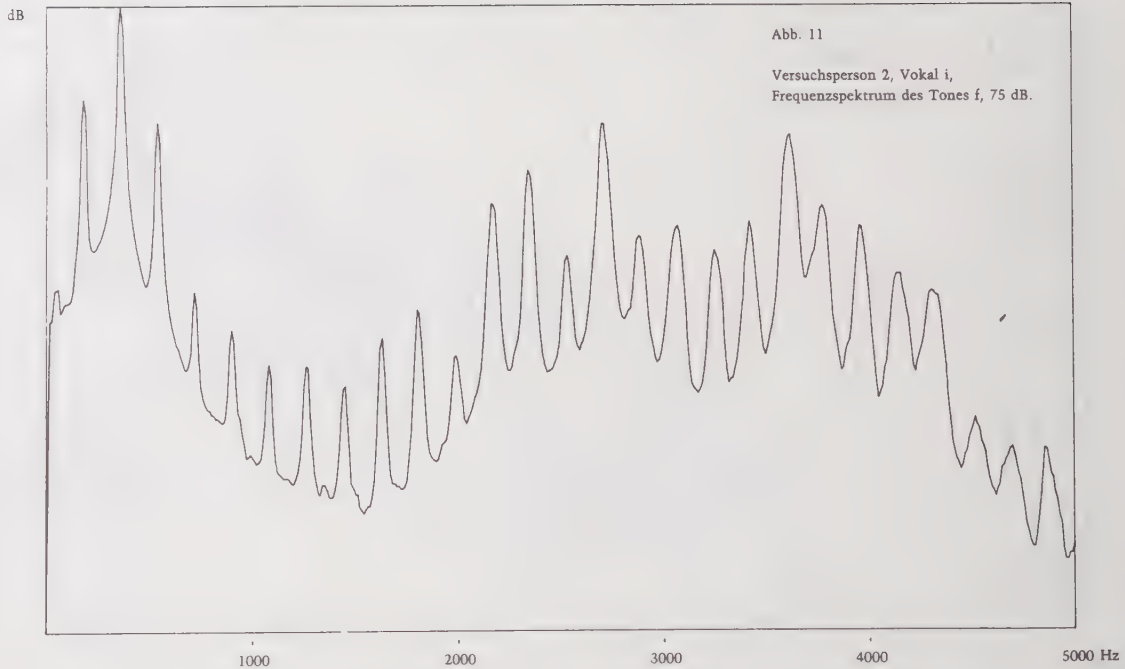


Abb. 11

Versuchsperson 2, Vokal i,
Frequenzspektrum des Tones f, 75 dB.

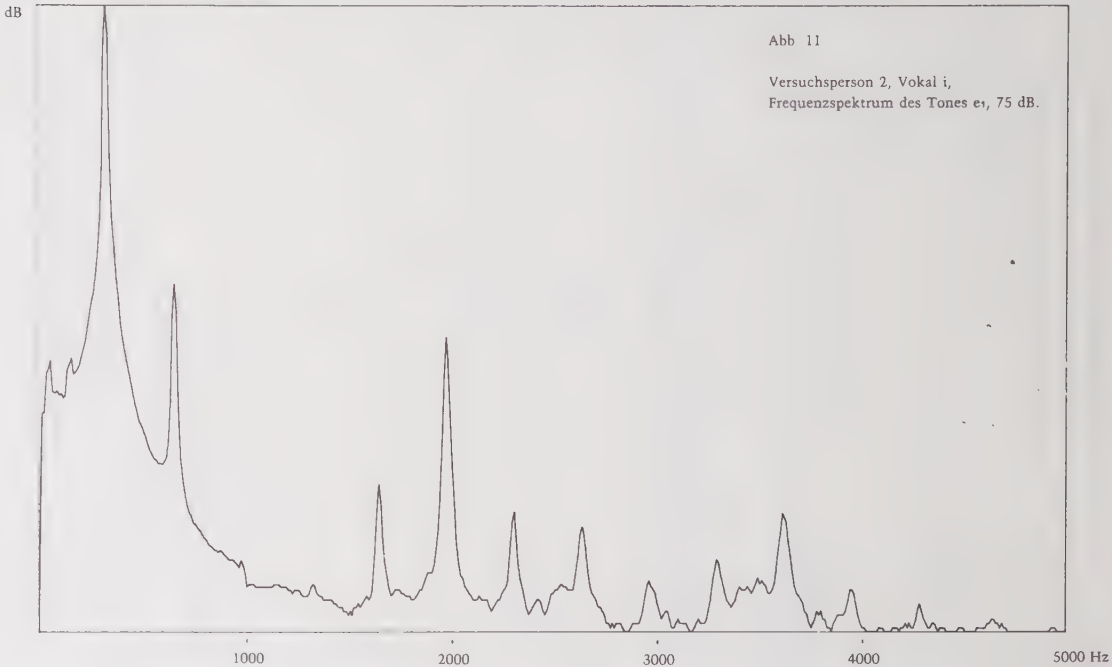


Abb 11

Versuchsperson 2, Vokal i,
Frequenzspektrum des Tones e_1, 75 dB.

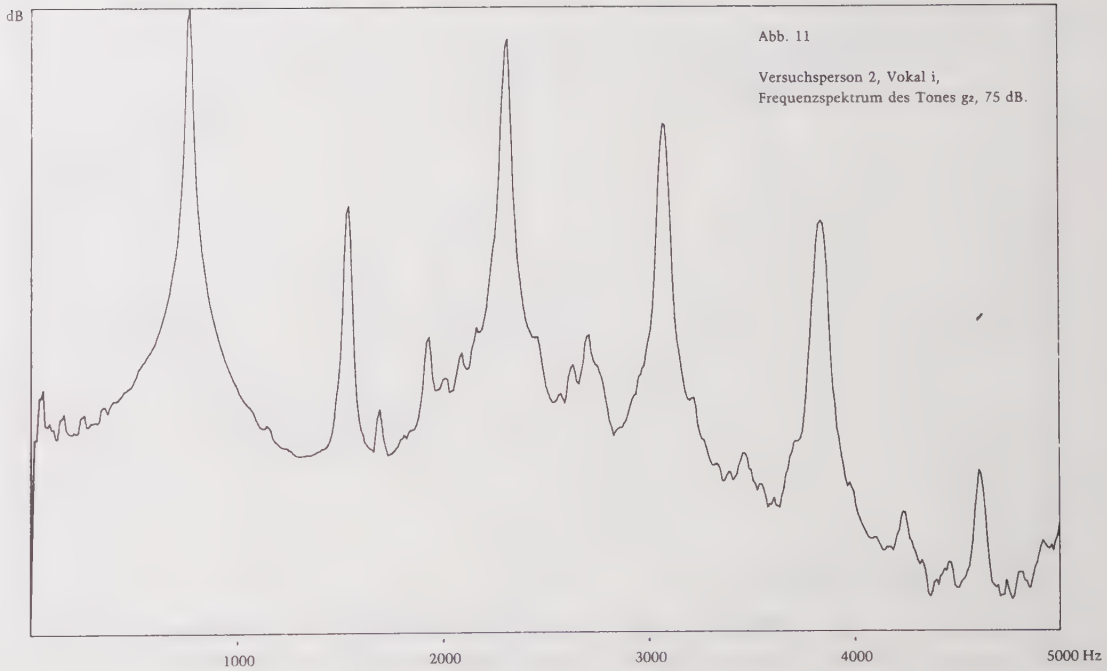


Abb. 11

Versuchsperson 2, Vokal i,
Frequenzspektrum des Tones g_2, 75 dB.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

1. Stimmfeldmessungen lassen sich bezüglich aller wesentlichen Fragestellungen reproduzieren.
2. Stimmlich geübtere Probanden (Patienten) werden besser reproduzierbare Ergebnisse bei der Stimmfeldmessung liefern als stimmungeübte.
3. Die Tonhaltedauer hilft dabei, die Registerstruktur des Stimmfelds deutlicher zu kennzeichnen.
4. Registerübergänge sind Schwachstellen in der Leistungsfähigkeit des Stimmapparats, die sich in deutlich kürzeren Werten der Tonhaltedauer ausdrücken.
5. Die im Rahmen dieser Arbeit nur stichprobenhaft durchgeführte Korrelation des 3-KHz-Formanten zur Registerstruktur und Tonhaltedauer gelang nur für zwei Vokale der Versuchsperson 2.

Diskussion

Die Stimmfunktion ist eine subjektive menschliche Leistung, die beim Stimmpatienten wie beim Sänger individuellen Schwankungen unterworfen ist. Die in der Untersuchung verwendete Stimmfeldmessung ist eine Methode, mit der sich die Stimmleistung in verschiedenen Aspekten objektivieren läßt, vorausgesetzt die technischen Rahmenbedingungen erlauben eine weitgehende Vergleichbarkeit. Der von *Seidner* und *Schutte* erarbeitete Standardisierungsvorschlag für die Stimmfeldmessung (17) bietet hierfür eine erste Grundlage, um Fragen der Indikation, der Geräteausstattung, der akustischen Bedingungen, der Aufzeichnung und Terminologie zu vereinheitlichen.

Wie die Erfahrungen bei den eigenen Untersuchungen jedoch zeigten, bleibt beim Umgang mit der menschlichen Stimme immer ein gewisser Rest Subjektivität übrig — auf seiten des Untersuchers wie des Patienten. Weil die Fragestellung dieser Arbeit die Reproduzierbarkeit von Stimmfeldmessungen war, hat sich der Untersucher speziell darum bemüht, bei den jeweils zwei Untersuchungssitzungen für den Probanden möglichst ähnliche Bedingungen zu erzeugen. Das bezieht sich insbesondere auf die Anleitung, den vorgegebenen Ton wirklich so leise wie möglich und so laut wie möglich zu singen, um so die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Stimme herauszufinden.

Werden diese Erfahrungen berücksichtigt, ist die Stimmfeldmessung eine zuverlässige und reproduzierbare Methode, die bei den oben im Abschnitt „Stimmfeld" angeführten Indikationen sinnvoll angewendet werden kann.

Auch der zeitaufwendigste Teil der Untersuchungen, die Messung der Tonhaltedauer in 5-dB-Schritten über den gesamten Stimmumfang auf alle fünf Vokale, erforderte vom Probanden einiges gesangliches Geschick, da es galt, den vorgegebenen Ton sofort auf dem jeweils zu messenden Dezibelniveau zu treffen. Ermüdungserscheinungen der Stimme bei Tonhaltedauern bis über eine Minute machten sich manchmal schon nach wenigen Tönen

bemerkbar und zwangen zu Erholungspausen. Nicht nur für den Kehlkopf bedeutete dieses extrem lange Halten der Töne eine Dauerbelastung, sondern auch für die Lungen- und Herz-Kreislauffunktion aufgrund der sich einstellenden Hyperkapnie. Es war somit oftmals nicht einfach, das Ausmaß der bereits eingetretenen Ermüdungserscheinungen abzuschätzen, um dann zu entscheiden, ob ein neuer Sitzungstermin verabredet werden mußte.

Sicherlich spielte gerade bei der Messung der Tonhaltedauer, aber auch bei der Stimmfeldmessung eine Rolle, ob und inwieweit die Versuchsperson ihr Stimmorgan beherrscht oder keinerlei Singerfahrung hat. Stimmessungen bei einem gesangsungeübten Probanden werden sicherlich eher zu Unregelmäßigkeiten, d.h. zu schlechterer Reproduzierbarkeit neigen als bei ausgebildeten Stimmen. Ein Nichtsänger weiß in der Regel gar nicht, zu welchen Leistungen seine Stimme fähig ist und wird vor allem in den extrem tiefen und extrem hohen Frequenzbereichen die größten Unsicherheiten verspüren. Um solche Unregelmäßigkeiten möglichst gering zu halten, hat es sich vor allem bei den Stimmfeldmessungen bewährt, den Probanden nachdrücklich dazu anzuleiten, wirklich leise oder wirklich mit seiner gesamten Stimmstärke zu singen. Ein so vermitteltes Vertrauen in die eigene Stimme ist gerade bei Patienten oder Versuchspersonen ohne jegliche Singpraxis ein wertvolles Mittel, um zu verwertbaren Ergebnissen zu kommen.

Die Auswertung der Tonhaltedauermessungen zeigte als eine Gesetzmäßigkeit, daß regelmäßig im mittleren Stimmbereich die kürzesten Werte auftraten und bei der Korrelation mit dem Stimmfeldbefund eine deutliche Beziehung zur Registerstruktur der Stimme sichtbar wurde. Dies bestätigt, daß der Registerübergang kein Vorgang ist, der nur im Frequenzbereich eines Tones stattfindet, sondern sich über einen längeren Stimmbereich erstreckt, und zwar von leisen, tiefen Frequenzen aufsteigend zum lauten, hohen Frequenzbereich.

Jeder Registerübergang geht mit einer komplexen Umstellung

der Kehlkopffunktion einher, wobei die noch im tieferen Frequenzbereich schwingende größere Muskelmasse der Stimmlippen auf eine deutlich geringer schwingende Masse, wie sie im Kopfregister benutzt wird, reduziert wird. Bei der ungeübten Stimme gibt es an diesen Stellen des Registerwechsels Schwierigkeiten, den Ton in Klang und Lautstärke unverändert zu halten. Diese Intonationsprobleme sind oftmals nicht nur von einem hörbaren bzw. im Stimmfeld sichtbaren „Versagen" der Stimme, sondern offenbar auch mit einer Verschlechterung der Stimmökonomie begleitet, die sich im Nachlassen der Fähigkeit zum Tonhalten ausdrückt.

G. Bloothooft in den Niederlanden hat bei seinen Untersuchungen über computerkontrollierte Stimmprofilregistrierungen eine ganz ähnliche Registerstruktur mit diagonal verlaufenden Übergängen gefunden (1).

Die spektralanalytische Auswertung des 3-KHz-Formanten, die im Rahmen dieser Arbeit nur stichprobenhaft durchgeführt werden konnte, zeigte nur bei einer Versuchsperson eine solche gesetzmäßige Verteilung, daß eine Korrelation zu Stimmfeld- und Tonhaltebefunden möglich war. Offensichtlich ist eine größere Stimmbeherrschung der Versuchspersonen nötig, um zu verwertbaren Ergebnissen zu kommen. Entsprechende Befunde anderer Verfasser über das Verhalten des 3-KHz-Formanten waren bisher nur an professionellen Sängern erhoben worden (15).

Literatur:

1. *Bloothooft*, A Computer controlled Device for Voice-Profile Registration, UEP-Kongreß, Amsterdam 1983.
2. *Calvet, Malhiac*, Courbes vocales et mue de la voix, J. fr. Oto-rhino-lar. 1 (1952), 115-124.
3. *Damsté*, The phonetogram, Practica oto-rhino-lar. 32 (1970), 185-187.
4. *Dejonckero*, Le Phonetogramme, son interet clinique, les Cahiers d'ORL, Paris 12, (1977), 865-872.
5. *Gross*, Die Stimmfeldmessung, eine Untersuchungsmethode für die HNO-ärztliche Praxis, in Laryngologie, Rhinologie, Otologie, H. 1, Jg. 60, Jan. 1981.
6. *Gross*, die Stimmfeldmessung, eine objektive Methode der Stimmdiagnostik, in Sprache-Stimme-Gehör. Jg.4, H. 3, Sept. 1980, (87-130).
7. *Luchsinger, Arnold*, Physiologie der Stimme, Folia phoniat. 5, (1953), 58-127.
8. *Luchsinger, Arnold*, Stimm- und Sprachheilkunde, 1970.
9. *Potter, Kopp, Green*, Visible Speech, New York 1947, 1967.
10. *Rauhut, Stürzebecher, Wagner, Seidner*, Messung des Stimmfelds. Folia phoniat. 31, (1979), 110-9.
11. *Schönhärl, E.*, Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie, Stuttgart, 1960.
12. *Schultz-Coulon*, Der 3-kHz-Formant — ein Maß für die Tragfähigkeit der Stimme? Folia phoniat. 31, 291-301 (1979).
13. *Schutte*, Over het Fonetogram, Tijdschr. Log. Fon., Grouda 47, 82-92, (1975).
ders., Untersuchungen von Stimmqualitäten durch Phonetographie, HNO-Praxis, Leipzig (1980), 5, 132-139.
14. *Seidner, Wendler*, Lehrbuch der Phoniatrie, Leipzig, 1977.
15. *Seidner, Wendler, Wagner, Rauhut*, Spektrales Stimmfeld, HNO-Praxis, Leipzig, (1981), 6, 187-191.
16. *Seidner*, Stimmfeldmessungen bei Sängern. VI. Phoniatrie-Symposium mit internationaler Beteiligung der Ges. f. ORL und zerv.-faz. Chir. der DDR, Leipzig, 1979, 3, 29.-31.

17. *Seidner, Schutte,* Standardisierungsvorschlag Stimmfeldmessung/Phonetographie, Berlin, Groningen UEP-Kongreß, Amsterdam 1983.
18. *Sundberg, J.* The source spectrum in professional singing, Folia phoniat., Basel 25, 71-90 (1973).
19. *Vogelsanger,* Experimentelle Prüfung der Stimmleistung beim Singen. Folia phoniat. 6, (1954), 193-227.
20. *Waar, Damsté,* Het fonetogram. Tijdschr. Log. Fon. 40, (1968), 198-201.
21. *Winckel, F.* Physikalische Kriterien für objektive Stimmbeurteilung, Folia phoniat. Basel 5, 232-252 (1953).
22. *Ders.* How to measure the effectiveness of stage singers voices, Folia phoniat. Basel 23, 228-233 (1971).

Danksagung

Für die Überlassung des Themas gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. P. Biesalski. Außerdem danke ich Herrn Dr. M. Groß für die vielfältigen Anregungen und freundliche Unterstützung bei der Erstellung der Dissertation sowie Herrn Dr. G. Geyer für die Erstellung des 2. Gutachtens. Herr Dr. Lippert betreute die technische Auswertung des Untersuchungsmaterials, und die Logopädin Frau Flanyek vermittelte mir erste Erfahrungen bei der Stimmfeldmessung. Beiden gilt, ebenso wie den Versuchspersonen, die viel Zeit und Mühe auf sich nehmen mußten, mein aufrichtiger Dank.

Lebenslauf

16. Mai 1950	Geburt in Berlin als drittes Kind des Arztes Dr. med Martin Lillge und dessen Ehefrau Inge, geb. Borrmann
1957 - 1961	Besuch der Grundschule in Berlin Tegel-Süd
1961	Umzug der Familie nach Bad Gandersheim/Harz
1961 - 1969	Besuch des neusprachlichen Zweigs des Gymnasiums Bad Gandersheim
12. Juni 1969	Abitur
1970 - 1972	Vorklinische Ausbildung an den Krankenanstalten Düsseldorf
25. Juli 1972	Physikum
1973 - 1979	Unterbrechung des Medizinstudiums, journalistische Tätigkeit und wissenschaftliche Beschäftigung mit klassischer Musik
1980 - 1984	Klinische Ausbildung an den Universitätskliniken Mainz
seit 1979	verheiratet mit der Diplombibliothekarin Ulrike Knaut